

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

**Untersuchungen mittels der Doppelringinfiltrationermethode
über die Infiltrationseigenschaften der Böden des
südlichen Hochlandes von Jordanien.**

Inaugural — Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät der
Justus Liebig-Universität
Gießen

eingereicht von Diplomlandwirt
Wolfgang Burghardt
geboren in Sonthofen / Allgäu

Gießen 1970

Aus dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. E. Schönhals

**Untersuchungen mittels der Doppelringinfiltrometermethode
über die Infiltrationseigenschaften der Böden des
südlichen Hochlandes von Jordanien.**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät der
Justus Liebig-Universität
Gießen

eingereicht von Diplomlandwirt
Wolfgang Burghardt
geboren in Sonthofen / Allgäu

Gießen 1970



D e k a n : Prof. Dr. P. Meimberg

1. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schönhals

2. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Jung

Tag der mündlichen Prüfung: 30. 10. 1970

Untersuchungen mittels der Doppelringinfiltrometermethode
über die Infiltrationseigenschaften der Böden
des südlichen Hochlandes von Jordanien

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Durchführung der Untersuchungen	5
2.1 Infiltrationsmessung	7
2.2 Profilaufnahme	10
2.3 Labormethoden	11
3. Allgemeine Beschreibung des Arbeitsgebietes	12
3.1 Lage des Untersuchungsgebietes	12
3.2 Oberflächengestalt	12
3.3 Geologischer Aufbau	14
3.4 Das Klima	17
3.5 Anmerkungen zum Paläoklima	25
3.6 Vegetation	26
3.7 Einfluß des Menschen	27
3.8 Einteilung der Böden des Unter- suchungsgebietes	27
3.8.1 'Gray Desert Soils'	28
3.8.2 'Yellow Soils'	29
3.8.3 'Regosols	30
4. Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften der Böden	30
4.1 'Gray Desert Soils' im Gebiet Wadi Arja	30
4.1.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile	30
4.1.2 Infiltrationseigenschaften	45
4.2 'Gray Desert Soils' im Gebiet Wadi Bureika	47
4.2.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile	47
4.2.2 Infiltrationseigenschaften	51

	Seite
4.3 'Regosols' aus Mergel im Gebiet Wadi el Uweina	52
4.3.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile	52
4.3.2 Infiltrationseigenschaften	58
4.4 'Yellow Soils' im Gebiet Wadi el Uweina	59
4.4.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile	59
4.4.2 Infiltrationseigenschaften	63
4.5 'Yellow Soils' im Gebiet Tell Abara	64
4.5.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile	64
4.5.2 Infiltrationseigenschaften	70
5. Beziehung der Infiltrationsraten zu Einzelmerkmalen	72
5.1 Bodenart	72
5.2 Gefüge	75
5.3 Carbonatgehalt	77
6. Die Wasserverteilung	85
7. Diskussion	93
7.1 Infiltrationseigenschaften der Böden	93
7.1.1 Infiltrationsraten unbearbeiteter Böden	93
7.1.2 Infiltrationsraten bearbeiteter Böden	101
7.2 Einfluß einzelner Bodenmerkmale auf die Infiltrationsraten	104
7.2.1 Bodenart	104
7.2.2 Gefüge	105
7.2.3 Carbonatverteilung	107
7.3 Wasserverteilung	111
8. Zusammenfassung	112
Literaturverzeichnis	117

1. Einleitung

Die Infiltration wird als Wassereintritt durch die Bodenoberfläche definiert, nach der Terminologie der Soil Science Society of America (1956, 434) als "the downward entry of water into soil". Die Stärke des Wassereintritts wird durch die Infiltrationsrate gekennzeichnet. Sie gibt die Wassermenge an, die auf einer gegebenen Fläche während einer bestimmten Zeit in den Boden eindringt.

Besondere Beachtung findet die Infiltrationsmessung in der Hydrologie (MUCKEL 1959, JOHNSON 1963), bei der Erosionsbekämpfung (SCHIFF & DREIBELBIS 1949, GRANT & STRUCHTEMAYER 1959, WISCHMEIER 1959, BERTRAND, BARNETT & ROGERS 1964, SCHENDEL 1967) und Bewässerungslandwirtschaft (THORNE & PETERSON 1950, U.S. Bureau of Reclamation 1950, U.S. Salinity Laboratories 1954) sowie bei der Anlage von Erdkanälen und Staubecken (HILLEL & GARDNER 1969, 142). Entsprechend der vielseitigen Bedeutung der Infiltrationsmessung ist die darüber veröffentlichte Literatur vielfältig und zahlreich. Bereits 1905 wurde von MUNTZ (zit. in JOHNSON 1963) die Bewässerungswasseraufnahme eingehender untersucht. Starken Aufschwung nahm jedoch die Infiltrationsmessung erst 1933, nachdem HORTON (zit. in PARR & BERTRAND 1960) die Bedeutung der Infiltration im hydrologischen Zyklus herausgestellt hatte. Schon 1940 konnte daher eine Bibliographie der Infiltrationsmessung mit über 200 Literaturangaben erscheinen (DAVIDSON, zit. in PARR & BERTRAND 1960). Bevorzugt wurden bis heute folgende Themen behandelt:

1. Die Meßmethodik.

Entsprechend den verschiedenartigen Fragestellungen, deren Beantwortung durch die Infiltrationsmessung angestrebt wird, mußte auch eine größere Anzahl von Meßmethoden entwickelt werden. Einige dieser Methoden sind in 'Methods of Soil Analysis' (BLACK & Mitarb. 1965, 197 - 209) aufgeführt. Ausführlicher setzen sich PARR & BERTRAND (1960) mit der Meßmethodik auseinander. Die Signung der häufig

zur Infiltrationsmessung eingesetzten und auch dieser Arbeit zugrundeliegenden Doppelringinfiltrationsmethode diskutieren insbesondere SCHIFF (1963), BURGY & LUTHIN (1957) sowie SWARTZENDRUBER & OLSON (1961).

2. Die Abhängigkeit der Infiltrationsraten von Bodeneigenschaften und äußeren Einflüssen.

Die Infiltrationsraten sind insbesondere vom Bodenwassergehalt abhängig (LEWIS 1937, zit. in JOHNSON 1963 und TISDALL 1951). Dies konnte auch SCHENDEL (1962) zeigen, indem er die Eignung der Infiltrationsmessung zur Wassergehaltsbestimmung der Bodenkrume nachwies. Infolge wechselnder Bodenwassergehalte sind die Infiltrationsraten jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen (BERTONI, LARSON & SHRADER 1958, GARD, JACOB & VAN DOREN 1959). Umfangreich ist die Literatur, die sich mit der Infiltrationsratenbeeinflussung durch unterschiedliche Korn- und Aggregatgrößenzusammensetzung sowie durch die Verdichtung einzelner Horizonte befaßt (DIEBOLD 1954, GRANT & STRUCHTEMEYER 1959, BIGGAR & TAYLOR 1960, EAGLEMAN & JANISON 1962, MILLER & GARDNER 1962). Die Infiltrationsraten von Carbonatanreicherungshorizonten zeigen nach LELAND (1961) eine enge Beziehung zum Carbonatgehalt. Den Zusammenhang zwischen Gefügeform und Infiltrationsraten beschreibt eingehender SMITH (1949). Die infiltrationsfördernde Wirkung eines Krümelgefüges wird von KHYBRI (1965) hervorgehoben. Über die Bedeutung der Gefügestabilität bei Tschernosemen macht VUCIC (1968) einige Angaben. Häufig kann die Bodenluft während der Infiltration nicht entweichen und wird dadurch eingeschlossen. Die sich daraus ergebende Abnahme der Infiltrationsraten beschreiben ADRIAN & FRANZINI (1966), SMITH, OLSEN, BAGNOLD & RICE (1966), WILSON & LUTHIN (1963). Über die Wirkung der organischen Substanz berichtet JOHNSON (1963). Nicht immer nehmen die Infiltrationsraten mit steigendem Humusgehalt zu, denn wie ALLISON (1947), GUPTA & SWARTZENDRUBER (1962) sowie MUCKEL (1959) nachwiesen, kann durch Mikroorganismen-

tätigkeit die Infiltrationsrate stark erniedrigt werden. Außer den erwähnten infiltrationsbeeinflussenden Bodeneigenschaften bewirken Niederschlagsintensität (SOR & BERTRAND 1962), Hangneigung (BERTONI, LARSON & SHRADER 1958) und Bodenbearbeitung (BODMAN, JOHNSON & KRUSKAL 1958, MUCKEL 1959, MARSHALL 1962, QUIRK & PANABOKKE 1962, BURWELL & LARSON 1969) eine Veränderung der Infiltrationsraten. Über die Infiltrationsratenabnahme durch Beweidung berichten BONDE & SUBRAMANYAM (1968).

3. Die mathematisch - physikalische Behandlung der Infiltrationsmessung.

Die Infiltrationsraten sind, wie obige Ausführungen zeigen, von vielfältigen Einflüssen abhängig. Dennoch lassen sie sich auf wenige physikalische Eigenschaften wie Wasserleitfähigkeit, Wasserspannungsgefälle und hydrostatische Drücke zurückführen. Daraus ergibt sich als dritter großer Themenkreis die mathematisch - physikalische Behandlung der Infiltrationsmessung sowie die Überprüfung der dadurch gewonnenen Formeln an Modellversuchen. Mit der Theorie der Infiltration beschäftigte sich insbesondere PHILIP (1957, 1957a, 1957b, 1957c, 1958, 1958a). Den Arbeiten von PHILIP war schon eine größere Anzahl theoretischer Untersuchungen vorangegangen, worüber PARR & BERTRAND (1960, 353 - 358) ausführlich berichten. Vergleiche zwischen theoretisch abgeleiteten und in Versuchen ermittelten Ergebnissen führten HANKS & BOWERS (1962), NIELSEN, BIGGAR & DAVIDSON (1962), HILLEL (1964), ZASLAVSKY (1964, 1969) sowie HILLEL & GARDNER (1968) durch.

Die oben angegebenen Untersuchungen wurden an den verschiedensten Bodentypen durchgeführt. Aber bei keinem dieser Beiträge wurden die für die einzelnen Bodentypen kennzeichnenden Infiltrationsraten herausgearbeitet. Untersuchungen dieser Zielsetzung wurden sicher häufiger durchgeführt. Sie sind jedoch schwer zugänglich, da sie überwiegend in Berichten beschrieben werden. Über die

Infiltrationsraten einiger Böden Kanadas berichten VERMA & TOOGOOD (1969). Diese Autoren ermittelten die Infiltrationsraten der Bodentypen im Edmonton Gebiet, um die gesamte Wasseraufnahme dieses Gebietes zu berechnen. Für einige Böden Israels führt RAVIKOVITCH (1960) in einer allgemein gehaltenen Zusammenstellung (ohne Daten) die wichtigsten bodenphysikalischen Eigenschaften an. In dieser Zusammenstellung sind bereits einige Angaben über die Infiltrationseigenschaften von Wüstenböden enthalten, wie sie auch im südlichen Hochland von Jordanien anzutreffen sind.

In dieser Arbeit werden die Infiltrationsraten einiger Bodentypen aus dem südlichen Hochland von Jordanien eingehender untersucht und die für mehrere Bodentypen kennzeichnenden Infiltrationsraten ermittelt. Hierzu wurden die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen durch Bestimmung von morphologischen und chemischen Eigenschaften der Profile ergänzt. An weiteren physikalischen Untersuchungen wurden im beschränkten Maße Messungen der Wasserleitfähigkeit im gesättigten Zustand durchgeführt. Die dabei erhaltenen Meßwerte sind wegen der grundsätzlich unterschiedlichen Versuchsbedingungen nicht mit den Ergebnissen der Infiltrationsmessung vergleichbar. Sie werden daher in dieser Arbeit nicht aufgeführt. Andere physikalische Untersuchungen, die für die Interpretation der Infiltrationsmessung von Nutzen wären, konnten wegen der technischen Schwierigkeiten im Arbeitsgebiet sowie aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden.

Die Ermittlung der Infiltrationsraten ist zur Beurteilung der Erosionsgefährdung, der Grundwasserauffüllung, der Hochwassergefährdung durch Oberflächenabfluß und der Bewässerungseignung von Böden besonders in landwirtschaftlich genutzten Gebieten von Bedeutung. Daher wurde Wert darauf gelegt, die Infiltrationsraten nicht nur von Böden in natürlicher Lagerung, sondern auch nach Bearbeitung zu erfassen.

Außer den für die Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien charakteristischen Infiltrationsraten soll in dieser Arbeit untersucht werden, wieweit an Hand einiger weniger Bodenmerkmale eine Aussage über die Höhe der zu erwartenden Infiltrationsraten gemacht werden kann. Diese Untersuchungen wurden nur an bearbeiteten Böden durchgeführt.

Um die Bestimmung der infiltrationsbeeinflussenden oder zumindest der mit Infiltrationsraten korrelierbaren Bodeneigenschaften zu erleichtern, empfiehlt das U.S. Bureau of Reclamation (1950), die räumliche Wasserverteilung im Boden nach beendeter Infiltrationsmessung zu ermitteln. Es wurde untersucht, wieweit bei den Böden im südlichen Hochland von Jordanien solche Zusammenhänge zwischen Infiltrationsraten, räumlicher Wasserverteilung und anderen Bodeneigenschaften bestehen.

2. Durchführung der Untersuchungen

Die Untersuchungen zur Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften wurden an 16 Profilen vorgenommen, die Bestandteil zweier in ost - westlicher Richtung verlaufender Profilreihen sind (Abb. 1). Diese Profile repräsentieren die Bodentypen 'Gray Desert Soils', 'Yellow Soils' und 'Regosols' (Gliederung nach MOORMAN 1959). Sechs der 'Gray Desert Soil' - Profile reihen sich im Gebiet Wadi Arja aneinander (Profil No. 1 - 6). Die übrigen befinden sich in der südlicher gelegenen Reihe, die sich über die Gebiete Wadi Bureika ('Gray Desert Soils', Profil 7 - 9), Wadi el Uweina ('Regosols' und 'Yellow Soils', Profil No. 10 u. 11 bzw. 12 u. 13) und Tell Abara ('Yellow Soils', Profil No. 14 - 16) erstreckt.

Die Profile wurden auf ihre Infiltrationseigenschaften sowie auf morphologische und chemische Beschaffenheit untersucht.

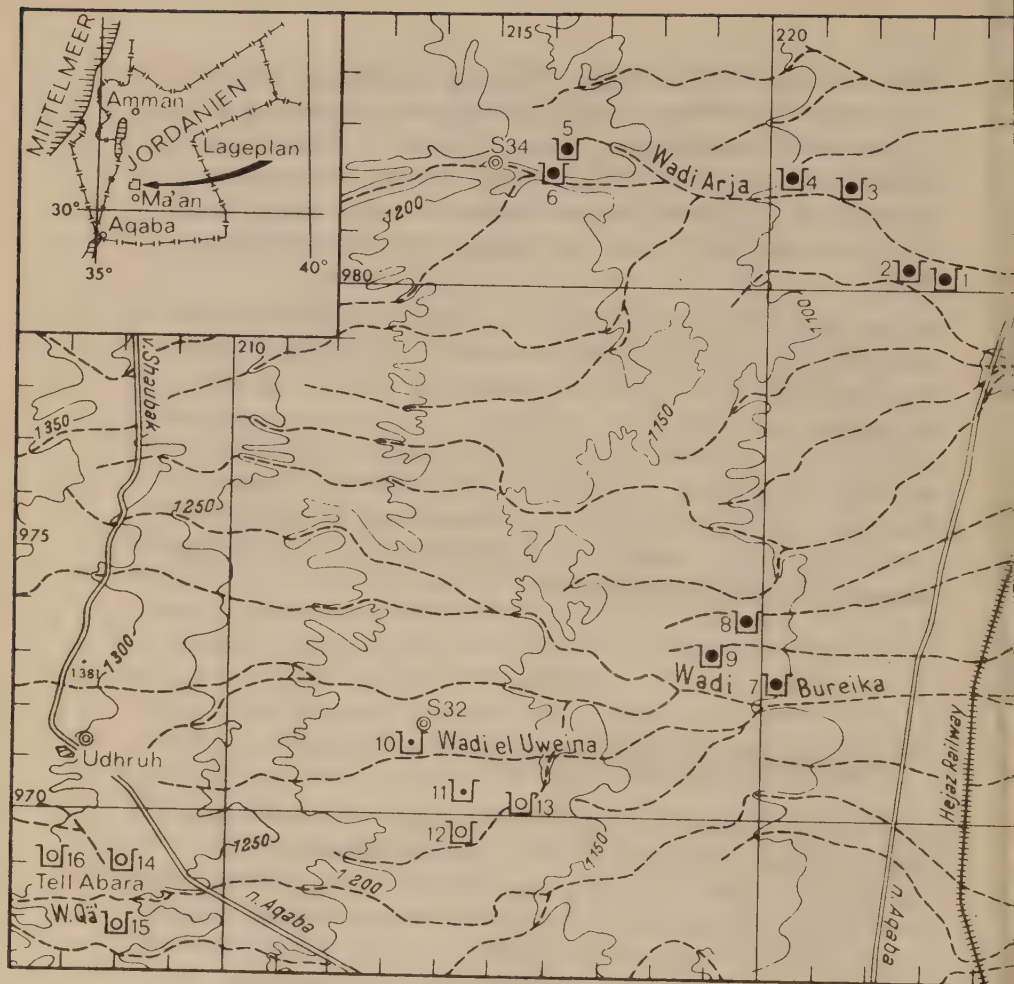
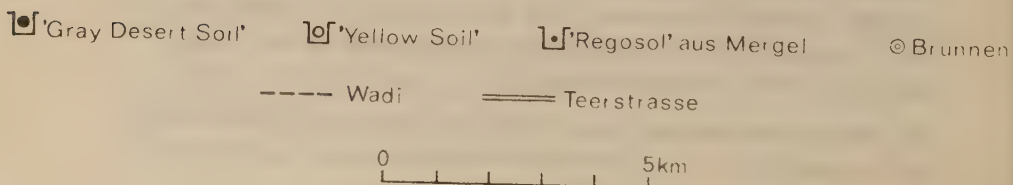


Abb. 1 Lageplan der untersuchten Profile



2.1 Infiltrationsmessung

Die Versuchsdurchführung erfolgte mittels der von SWARTZENDRUBER & OLSON (1961) empfohlenen Doppelring-infiltrometermethode.

Für die Messung wurden an jedem Profil 9 Doppelringe angesetzt, 3 von diesen auf unbearbeiteten und 6 auf Meßstellen, die 20 cm tief umgegraben wurden. Die Anordnung der Meßstellen um die Profile ist aus Abb. 2 ersichtlich. Eine Meßstelle auf bearbeitetem Boden wurde jeweils direkt neben den Profilen, die übrigen Meßstellen in ca. 15 m Entfernung angelegt. Die Doppelringe hatten folgenden Durchmesser: der Innenring 30 cm, der Außenring 55 cm. In den Boden eingetrieben wurde der Innenring 20 - 25 cm, der Außenring ca. 15 cm. Die Messungen wurden an 3 aufeinanderfolgenden Tagen über eine Zeitdauer von jeweils 8 Stunden durchgeführt. Die Überstauhöhe betrug 10 cm. Die Kontrolle der Überstauhöhe erfolgte mittels eines Metallhakens, der bei Abfall des Wasserspiegels durch die Wasseroberfläche hindurchstieß (nach H.R. HAISE & Mitarb. 1956).

Das bei den Messungen verwendete Wasser entstammte den nächstgelegenen Brunnen bzw. Quellen, und zwar für das Gebiet Wadi Arja aus Brunnen S 34, für die Gebiete Wadi Bureika und Wadi el Uweina aus Brunnen S 32 und für die Messungen im Gebiet Tell Abara aus der Quelle Udruh. Die Lage der Wasser - Entnahmestellen geht aus Abb. 1 und die chemische Beschaffenheit des Wassers aus Tab. 1 hervor.

Die Infiltrationsraten werden vom Wassergehalt der Böden wesentlich beeinflusst (SMITH 1949). Der Wassergehalt macht sich dahingehend bemerkbar, daß die Infiltrationsraten mit zunehmender Bodendurchfeuchtung abfallen, und zwar bei einzelnen Böden unterschiedlich schnell, daher sind die Anfangsraten zur Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften eines Bodens nicht geeignet. Nach erfolgter Wassersättigung bleiben die Infiltrationsraten annähernd konstant. Diese konstanten Infiltrationsraten stellten sich bei den Böden des Arbeitsgebietes teilweise erst nach 2 bis 3 tägiger Messung ein. Zur Auswertung wurden die Infiltrationsraten des 3. Meßtages herangezogen, da damit die Vergleichbarkeit der Meßwerte verschiedener Standorte gegeben ist.

Die Infiltrationsraten lassen sich nach KOHNKE (1968) wie folgt klassifizieren:

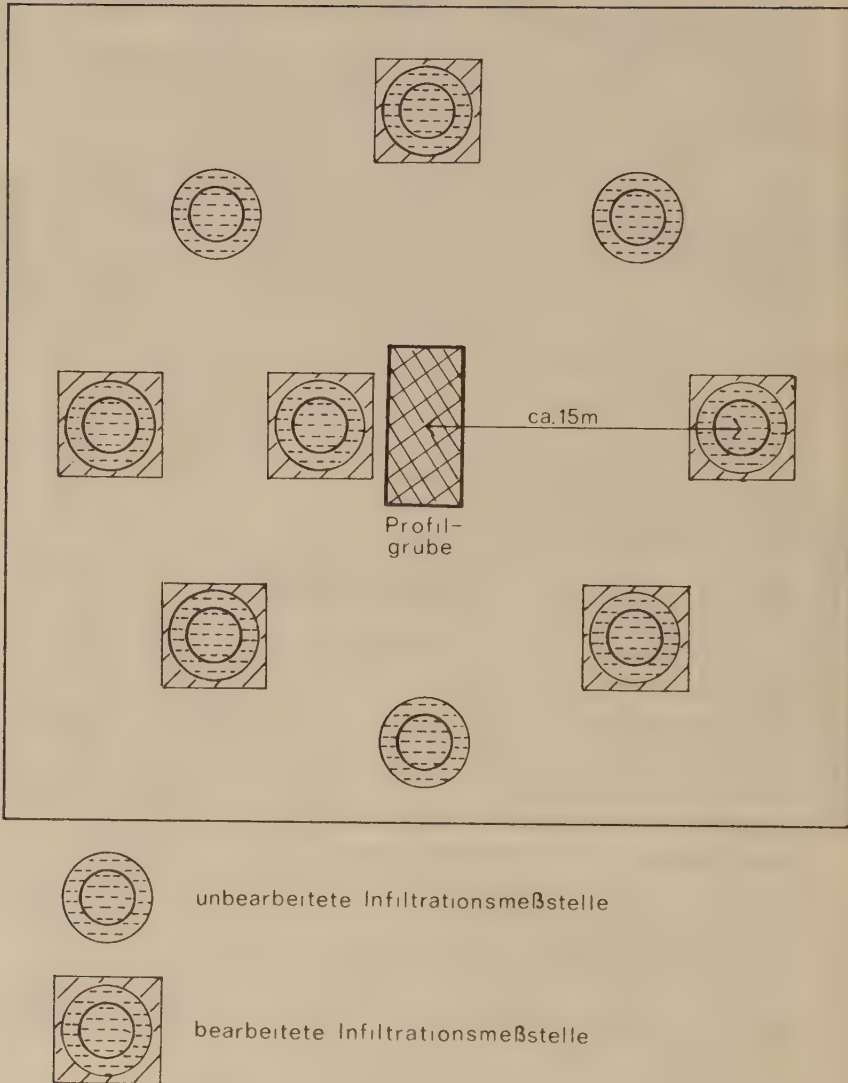


Abb.2 Anordnung der parallelen Infiltrationsmeßstellen

Tab. 1 Chemische Zusammensetzung des zur Infiltrationsmessung verwendeten Wassers.
(Mitt. H. BENDER)

Brunnen, Quelle	Datum der Probenahme	Elektrische Leitfähigkeit mmhos/cm	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃
S 32 Wadi el Uweina*	3.8. 1968	0,590	7,7	72,1	27,4	27,6	3,2	60,3	50,6	284	-
S 34 Wadi Arja*	3.8. 1968	0,550	7,8	66,1	28,0	20,8	3,1	53,9	35,4	287	0,0
Quelle Udruh	14.2.1969	0,430	-	48,6	26,2	10,7	1mal/1	42,2	133,6	209	0,0

* Analysen Bundesanst. Bodenforsch., Hannover

+ Analysen NRA, Amman/Jordanien

Tab. 2 Einteilung der Infiltrationsraten nach Klassen

<u>Infiltrationsklasse</u>	<u>Infiltrationsrate mm/h</u>
sehr gering	<1
gering	1 - 5
gering bis mittel	5 - 20
mittel	20 - 63
mittel bis hoch	63 - 127
hoch	127 - 254
sehr hoch	>254

2.2 Profilaufnahme

Die Farbandsprache wurde am trockenen und feuchten Boden unter Verwendung der von MUNSELL (1954) entwickelten Farbtafeln durchgeführt. Die Bestimmung der Bodenart im Gelände erfolgte mit der sogenannten Fingerprobe. Zur Einstufung der Bodenarten wurde die in der 7 th Approximation (U.S. DEPT. AGRIC. 1960, 254) vorgeschlagenen Einteilung herangezogen. Eine genauere Ansprache der Bodenarten mittels der Fingerprobe ist nur nach genügend praktischer Erfahrung in diesem Gebiet möglich, die für diese Arbeit nicht gegeben war. Daraus folgt eine Ungenauigkeit in der Bezeichnung der Bodenarten. Ein Wechsel der Korngrößenzusammensetzung innerhalb der einzelnen Profile kommt jedoch zum Ausdruck. Der Gefügebestimmung liegt die im Anhang der 7 th Approximation (1960, 157) angeführte Beschreibung zugrunde. Die Konsistenz wurde an trockenen Bodenproben durch Zerdrücken der Aggregate ermittelt.

Da die im Boden abgelaufenen genetischen Prozesse nicht bekannt sind, wurde auf eine Kennzeichnung der Horizonte durch die eingeführten Symbole verzichtet. Statt dessen wurden zur Abgrenzung der Horizonte fortlaufende Nummern verwendet. Ähnlich verfährt auch MOORMAN (1959) bei der Beschreibung der Wüstenböden Jordaniens.

2.3 Labormethoden

Durch chemische Untersuchungen wurden bestimmt: organische Substanz, Carbonate, pH - Wert in der Sättigungspaste, die elektrische Leitfähigkeit und die Zusammensetzung der Salze im Sättigungsextrakt. Für die Analysen wurde lufttrockener Boden zerkleinert und durch ein Sieb mit 2 mm Maschenweite gegeben.

Organische Substanz und Carbonate: Der Gehalt an organischem und anorganischem Kohlenstoff wurde mittels der von ALLISON (1960) ausgearbeiteten Methode ermittelt. Es wurde der Gesamtkohlenstoff und der anorganische Kohlenstoff bestimmt. Durch anschließende Subtraktion ergaben sich die Gehalte an organischem Kohlenstoff. Die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffes erfolgte durch Zugabe von 1 - 2 g Kaliumdichromat ($K_2Cr_2O_7$) und 25 ml einer Aufschlußlösung aus 6 Teilen konzentrierter Schwefelsäure und 4 Teilen konzentrierter Orthophosphorsäure. Als Aufschlußlösung für den anorganischen Kohlenstoff diente 25 ml eines Gemisches aus 57 ml konzentrierter Schwefelsäure und 92 g Eisen-(II)-sulfat in 1000 ml destilliertem Wasser. Bei beiden Analysengängen wurden die Bodenproben in der Aufschlußlösung gekocht und das freigesetzte Kohlendioxid in einer Nesbitt - Flasche von dem Mineral Mikohbit absorbiert. Die vom Mikohbit aufgenommene Kohlendioxidmenge wurde gravimetrisch bestimmt und auf Prozent Kohlenstoff je 100 g Bodenprobe umgerechnet. Die Umrechnung auf prozentuale Gehalte an organischer Substanz bzw. Carbonaten erfolgte durch Multiplikation mit den Faktoren 1,724 bzw. 8,33.

pH - Wert: Der pH - Wert wurde in der Sättigungspaste bestimmt (RICHARDS 1954, Methode 21 a, S. 102).

Elektrische Leitfähigkeit: Durch Wassersättigung der Bodenprobe wurde eine Paste hergestellt. Aus dieser Paste wurde der Sättigungsextrakt gewonnen, an dem die Messung der elektrischen Leitfähigkeit erfolgte (RICHARDS 1954, Methode 2, S. 84, Methode 3 a, S. 84/89, Methode 4 a, S. 89). Die erhaltenen Meßwerte wurden unter Berücksichtigung der Zellkonstante auf eine Temperatur von 25°C umgerechnet. Außer der elektrischen Leitfähigkeit wurden im Sättigungsextrakt die häufigsten Kationen und Anionen wie folgt bestimmt: Kalium, Natrium, Calcium mittels eines Eppendorf - Flammenphotometers. Magnesium an einem Perkin - Elmer - Atomadsorptionsphotometer. Chloride: Titration mit 0,005 n Silbernitratlösung unter Verwendung von Kaliumdichromat als Indikator (RICHARDS 1954, Methode 13, S. 98/99). Sulfate: Durch Zugabe von 1 n Bariumchlorid wurde das Sulfat in der angesäuerten, kochenden Lösung als Bariumsulfat gefällt und gravimetrisch bestimmt (RICHARDS 1954, Methode 14 a, S. 99). Kohlensäure: Titration mit 0,01 n Schwefelsäure, als Indikator diente Phenolphthalein (RICHARDS 1954,

Methode 12, S. 98). Hydrogencarbonat: Nach Zugabe von Methylorange als Indikator wurde der Hydrogencarbonatgehalt durch Titration mit 0,01 n Schwefelsäure ermittelt (RICHARDS 1954, Methode 12, S. 98).

3. Allgemeine Beschreibung des Arbeitsgebietes

3.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Jordanien befindet sich zusammen mit Syrien und dem Libanon auf dem Gebiet der nordwestlichen Ausläufer der Arabischen Halbinsel. Hier trifft das flache Wüstengebiet Arabiens auf den Wadi Araba - Jordan - Graben, der im südlichen Landesteil von Gebirgszügen bis zu 1800 m NN begleitet wird. Am Übergang dieses Berglandes zum Zentralen Wüstengebiet Jordaniens liegt das Untersuchungsgebiet, etwa 25 km nördlich bis nordwestlich der Stadt Ma'an (1080 m NN), im Dreieck zwischen den beiden Hedjaz - Bahnstationen Uneiza (1050 m NN) und Jurdhan (1070 m NN) sowie dem Beduinendorf Udruh (1300 m NN). Die begrenzenden Koordinaten sind: $30^{\circ}17'$ und $30^{\circ}26'$ nördliche Breite sowie $35^{\circ}35'$ und $35^{\circ}47'$ östliche Länge.

3.2 Oberflächengestalt

Die Oberflächengestalt des Zentralen Wüstengebietes Ostjordaniens wird wesentlich durch zwei große abflußlose Becken geprägt und zwar im nördlichen Jordanien durch das Azraq- und im südlichen Landesteil durch das El Jafr - Becken. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Böden aus dem Einzugsgebiet des El Jafr - Beckens.

Das El Jafr - Becken wird im W zum Wadi Araba - Graben hin

durch das Esh Sharah Gebirge begrenzt, dessen Gipfel vereinzelt Höhen von 1800 m NN erreichen. Dieses Gebirge gehört zu einem nach E abfallenden Plateau, welches jedoch im Westen durch die Erosion der Flüsse den Charakter eines Berglandes erhalten hat (MOORMAN 1959, 5). Aus dem Esh Sharah Gebirge entwässern mehrere Trockenflüsse ins El Jafr - Becken, von denen das Wadi Arja, das Wadi Abu Hamam, das Wadi Bureika mit dem Nebenfluß Wadi el Uweina und das Wadi Qā' das Arbeitsgebiet queren (Abb. 1). Der Lauf dieser Wadis ist vorwiegend nach E gerichtet.

Am Übergang vom Plateau zur flacheren Wüstenzone treten einige in NS - Richtung streichende Hügelketten aus härteren Kalkgesteinen des Eozän - Paleozän auf (Abb. 3). Vor diesen Barrieren entstanden beckenartig erweiterte Täler, wie z.B. im Gebiet Wadi el Uweina. In diesem noch stark modellierten Relief wurde das bodenbildende Gesteinsmaterial vielfach umgelagert. Es entstanden Kolluvien, aber auch Ausbisse des anstehenden Gesteins. Nach E, am Übergang zum Zentralen Wüstengebiet Jordaniens verliert sich allmählich das Erosionsrelief (MOORMAN 1959, 6). Am Wadi Bureika tritt noch hügeliges Gelände auf. Nach NE nimmt das Relief jedoch flachere Formen an. Das Flußbett des Wadi Arja schneidet nur noch wenige Meter in eine heute fast ebene ehemalige Schotterfächerlandschaft ein.

Das Zentrale Wüstengebiet besteht aus einer teilweise in ariden Verwitterungsschuttmassen 'ertrunkenen' Schichtstufenlandschaft der Kreide und des Tertiärs (BENDER 1968). Viele Hundert Quadratkilometer umfassende Flächen des Zentralen Wüstengebietes werden von kalkig - kieseligem Gesteinsgrus, vor allem aber scharfkantig zerfallenen Hornsteinen überdeckt (BENDER 1968). Diese für die 'Feuersteinwüste' (arab. Hamada) charakteristische Steindecke ist auch noch am Wadi Arja und am Wadi Bureika anzutreffen.

3.3 Geologischer Aufbau

Nach der von HENSON (zit. in KHDEIR 1968, 15) durchgeführten Einteilung des nahöstlichen Raumes in stratigraphisch - tektonische Zonen liegt das Einzugsgebiet des Jafr - Beckens im Bereich des Überganges vom mobilen zum stabilen Schelf. Dies drückt sich auch durch Senkungen im Jafr - Becken aus, die sich bis in das Paläozoikum zurückverfolgen lassen. Im Oligozän und Plio - Pleistozän hob sich der westliche Beckenrand (BENDER 1969). Während dieser Bewegung setzte die erosive Abtragung ein, so daß heute auf dem Plateau von W nach E die Schichtfolgen Maastricht - Campan - (?) Santon, Paleozän - Dan - Maastricht und Eozän - Paleozän angetroffen werden (Abb. 3). Das erodierte Gestein lagerte sich in den Talauen des Plateaus und in der flachen Wüstenzone ab. Sämtliche untersuchten Böden entwickelten sich aus diesem umgelagerten Gesteinsmaterial. In den Talauen des Plateaus tritt es häufig in Form von Kolluvien auf. Doch ist es vielfach schwierig, kolluviale von fluviatilen Sedimenten zu trennen. Das Ausgangsgestein der in den Talauen des Plateaus untersuchten Böden wurde von den umliegenden Hügelketten abgetragen. Im Gebiet Tell Abara stammt es vom Maastricht - Campan - (?) Santon ab. Diese Schichtfolge besteht aus Phosphoriten, Austernkalken, Kalk - Mergel - Wechsellagerungen, verkieselten Kalken und Hornsteinen. Ebenfalls hartes Gesteinsmaterial aus Nummulitenkalken und Kreidekalken ist am Südostrand des Wadi el Uweina anzutreffen. In diesem Gebiet entstanden vermutlich die Böden aus umgelagertem Material des Eozän - Paleozän. Der überwiegende Teil des untersuchten Gebietes am Wadi el Uweina besteht jedoch aus weichem Kreidemergel sowie bituminösen Kalken und Mergeln des Paleozän - Dan - Maastricht. Nach RAVIKOVITCH & PINES (1967) vollzieht sich die Bodenbildung im harten Kalkgestein schneller als in entsprechenden weicheren Gesteinen. Dies konnte auch bei den Böden des Plateaus beobachtet werden.

In der flacheren Wüstenzone sind Kolluvien seltener anzutreffen.



- | | | |
|--|--|-----------------------------|
| | Wadi-Sedimente | Holozan |
| | Fluviale Schotter, Verwitterungsdecken | Pleistozan |
| | Basalte, Dolerite | |
| | Karke mit Hornsteinen, Nummulitenkarke, Kreidekarke, sandige u. konglomerat. bis Karke | Quartar - ? Neogen |
| | Kreidemergel, bituminöse Karke und Mergel | Eozan - Paleozan |
| | Phosphorite, Austrokarke | |
| | Kalk-Mergel - Wechsellagerungen, verkieselte Karke, Hornsteine | Paleozan - Dan - Maastricht |
| | Maastricht - Campan - ? Santon | |

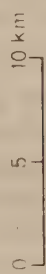


Abb. 3 Geologische Karte des Arbeitsgebietes (DEUTSCHE GEOLOGISCHE MISSION JORDANIEN 1968)

Als bodenbildende Gesteine treten fluviatile Schotter- und Verwitterungsdecken (Pleistozän) auf, die teilweise umgelagert und mit lößähnlichen Sedimenten vermischt wurden (HEIMBACH 1962, 23). Ähnliche Ablagerungen der südlichen Negev werden als Plio - Pleistozän angesehen (DAN 1964).

Die in der Wüstenzone untersuchten Böden liegen in zwei verschiedenen Landschaftsräumen: einer Terrassen- und einer ehemaligen Schotterfächerlandschaft. Das hügelige Gelände am Wadi Bureika wird vermutlich einer ehemaligen Terrassenlandschaft angehört haben, die heute weitgehend zerstört ist. Die Zusammensetzung der Terrassengesteine der jordanischen Wadis wurde von VITA VINCI (1964, 24 - 28) beschrieben. Die obere Terrasse, die an Hand von Artefaktenfunden ins obere bis mittlere Paläolithikum gestellt wird, besteht aus Kalkgeröll, gemischt mit Flintsteinen und lederfarbigen Mergeln und rotbraunen Böden. Schon in kurzen Entfernungen variiert die Zusammensetzung des bodenbildenden Materials merklich. Eine Schichtung ist nicht deutlich erkennbar, so daß eine Anhäufung eckiger Flinte und gerundeter Kalkgerölle in roter Matrix in reinen Kalkkies übergehen kann, der von braunem, fast kiesfreiem Boden überlagert wird.

Das Material der unteren Terrasse ist nach VITA VINCI allgemein gleichmäßiger geschichtet als die Sedimente der oberen Terrassen. Die Gerölle sind häufig kleiner und besser gerundet. Verhärtungen durch Kalk sind nur selten anzutreffen. Diese Ablagerungen bestehen aus Gesteinsmaterial, das von älteren Terrassen abstammt. Nach der Ablagerung der unteren Terrasse begann die heute noch wirksame erosive Phase. Durch sie wurden die Terrassen teilweise zerstört. Das abgetragene Gestein tritt in den Wadis als holozänes Sediment wieder auf.

Die Schotterfächerlandschaft im Gebiet des Wadi Arja zeichnet sich durch Böden mit unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung aus, da der ursprünglich durch eine große Anzahl von Wadis zerteilte Schotterfächer durch

kleinflächig wirksame Erosion, Solifluktion und Windablagerungen eingeebnet wurde. Nach MOORMAN (1959, 40) ist dieser Wechsel von steinreichen und -ärmeren Böden typisch für das jordanische Wüstengebiet.

Aus dem fluviatil abgelagerten Gesteinsmaterial entstanden durch physikalische und chemische Verwitterung schwach entwickelte Böden. Aus dem verwitterten Gestein wurde die silicatische Komponente durch Sortierungsvorgänge angereichert. An der Bodenoberfläche bildete sich dadurch die für dieses Wüstengebiet charakteristische Flintsteindecke aus (LOWDERMILK 1953, MACHATSCHEK 1959, 151/152).

3.4 Das Klima

Kennzeichnend für das Klima Jordaniens sind kühle, regnerische Winter und niederschlagslose, warme Sommer. Daher wurde Jordanien von LONG (1957) bioklimatisch den mediterranen Gebieten zugeordnet. Im Einzelnen weisen die verschiedenen Landesteile Jordaniens jedoch extreme Unterschiede auf. Das Arbeitsgebiet liegt in einer klimatischen Übergangszone. Auf dem Plateau kann das Klima nach LONG als mediterran - arid bezeichnet werden. Nach E hin geht es langsam in die mediterrane Sahara - Zone über.

Inmitten des Arbeitsgebietes liegen keine Klimameßstationen. Drei Stationen befinden sich am Rande des untersuchten Areals: im W der Beduinenort Udruh, im NE die Bahnstation Uneiza und im SE die Stadt Ma'an. Langjährige Beobachtungen liegen nur von der Station Ma'an vor.

Die Niederschläge* betragen in der flachen Wüstenzone durchschnittlich 50 mm/Jahr. Sie steigen auf dem Plateau (Udruh) auf 150 mm/Jahr an (Abb. 4). Diese Werte schwanken von Jahr zu Jahr erheblich. Uneinheitlich sind auch die

* Die Klimadaten wurden von GRUNBERG (1969) nach Unterlagen der meteorologischen Dienste Jordaniens zusammengestellt.

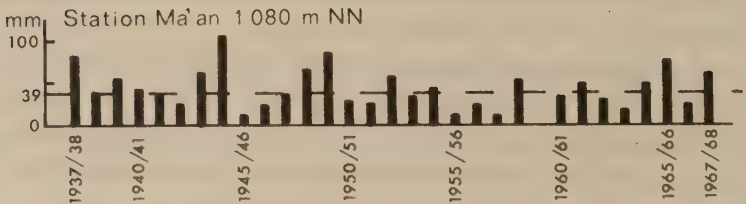
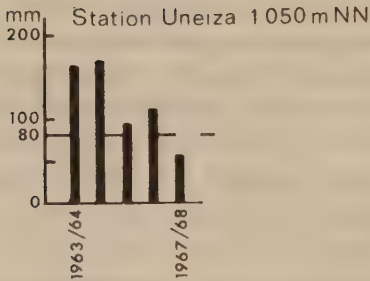
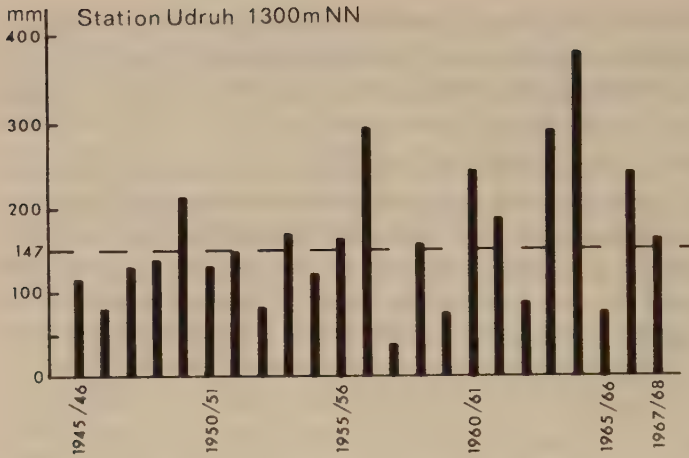


Abb. 4

Niederschlagsmessungen der einzelnen Monate. Die Monate Dezember und Januar können als die regenreichsten des Jahres angesehen werden (Abb. 5). Die Niederschläge fallen häufig als Starkregen.-Die Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsmengen für drei Stationen sind in Tab. 3 aufgeführt.

Tab. 3 Häufigkeitsverteilung der täglichen Niederschlagsmengen (GRÜNEBERG 1969).

Station	Anzahl der Tage mit Niederschlagsmengen von				
Jahr	1 - 5	6 - 10	11 - 25	26 - 50	51 - 100
mm					
Ma'an					
1963/64	9	-	-	-	-
1964/65	14	2	1	-	-
1965/66	7	3	-	-	-
1966/67	8	1	-	-	-
1967/68	16	1	-	1	-
in 5 Jahren	54	7	1	1	-
Uneiza					
1963/64	5	7	6	-	-
1964/65	10	7	3	1	-
1965/66	9	3	2	-	-
1966/67	12	3	3	-	-
1967/68	17	-	1	-	-
in 5 Jahren	53	20	15	1	-
Udruh					
1964/65	15	8	1	4	2
1965/66	5	1	3	-	-
1966/67	8	4	3	4	-
1967/68	24	6	2	1	-
in 4 Jahren	52	19	9	9	2

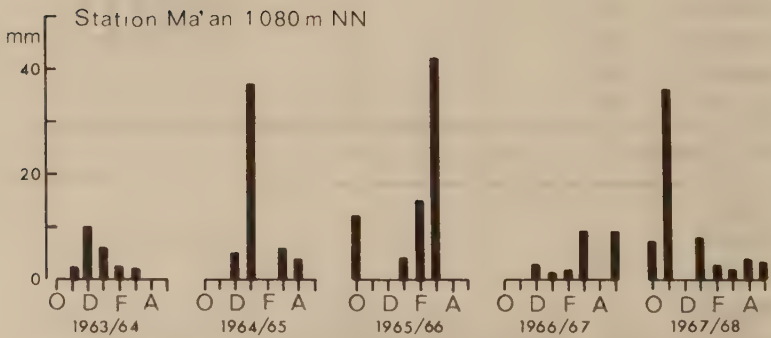
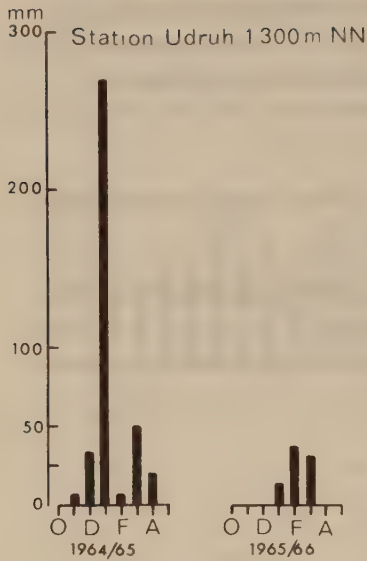


Abb.5 Monatliche Niederschläge

GRÜNEBERG 1969

Im Winter fallen die Niederschläge im Plateau nicht nur als Regen, sondern auch als Schnee.

Langjährige Temperaturbeobachtungen liegen nur für Ma'an vor. Die Station Udruh führt erst seit Mitte 1967 solche Messungen durch. Daten waren infolgedessen nur für die Monate Juli bis Dezember verfügbar. Aus Abb. 6 sind die Temperaturen der einzelnen Monate zu ersehen. Für Ma'an wurden sie für einen Zeitraum von 8 Jahren gemittelt. Nach diesen Ergebnissen ist in Ma'an der Januar der kälteste und der August der wärmste Monat. In Udruh werden die Tageshöchsttemperaturen schon im Juli erreicht. Die Tagesmitteltemperaturen liegen in Udruh um 2 bis 3° unter den in Ma'an ermittelten Werten. Im Arbeitsgebiet ist im Winter mit Frosttagen zu rechnen. Über die Häufigkeit der Frosttage in Ma'an gibt Tab. 4 Auskunft (GRÜNEBERG 1969).

Tab. 4 Zahl der Frosttage in Ma'an 1964/65 - 1966/67.

Jahr/Monat	Dez.	Jan.	Febr.	März	April
1964/65	-	1	2	1	1
1965/66	1	4	1	1	-
1966/67	2	9	7	2	-

Angaben über die relative Luftfeuchtigkeit liegen nur für den Flughafen Ma'an vor. Die Ergebnisse der fünfjährigen Messungen sind in Abb. 7 niedergelegt. Die relative Luftfeuchtigkeit übersteigt mittags nur selten die 50 % - Grenze. Der Taupunkt wird vereinzelt in den Dezember- und Januar-nächten erreicht.

Die ebenfalls am Flughafen Ma'an ermittelte potentielle Evaporation (Abb. 8) beträgt in den Wintermonaten noch 5 - 7 mm/Tag und steigt im Sommer bis auf 15 mm/Tag an. Aus diesen Werten errechneten GRÜNEBERG und DAJANI (1964)

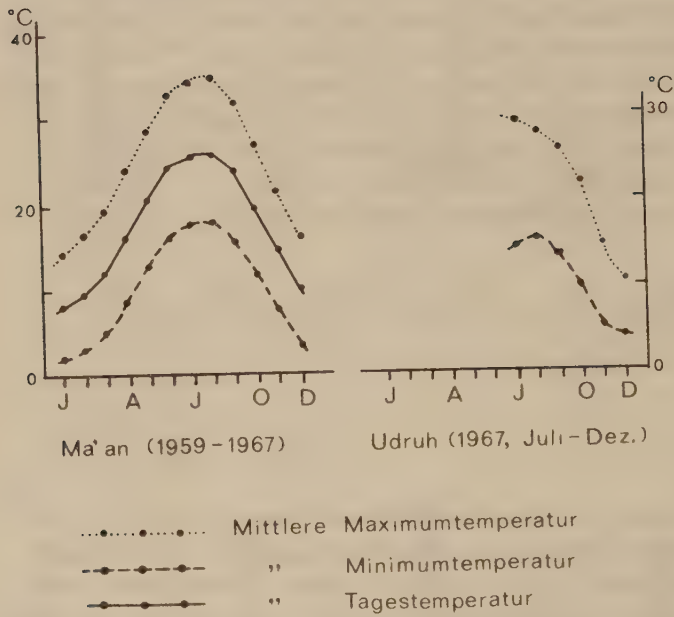


Abb. 6 Monatliche Temperaturmittelwerte GRÜNEBERG 1969

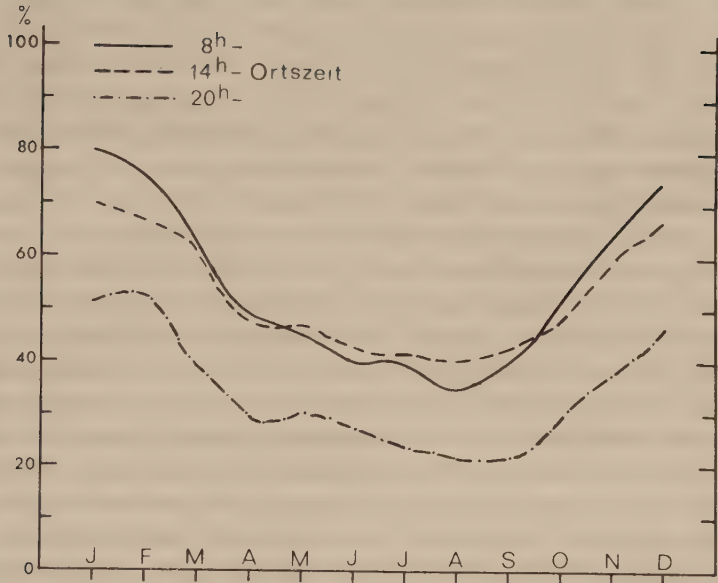


Abb. 7 Monatliche Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit von Ma'an Air Port aus der Zeit Sept. 1959 - Juli 1964
GRÜNEBERG 1969

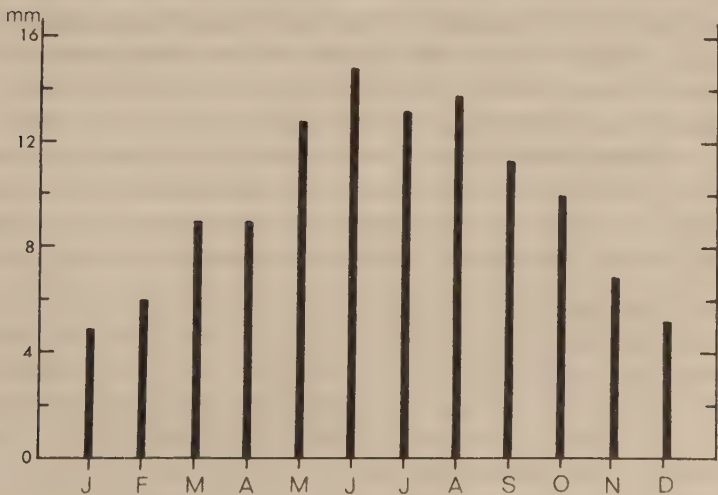


Abb. 8 Mittlere tägliche potentielle Evaporation von Ma'an Air Port aus der Zeit Januar 1960 - Juli 1964
GRÜNEBERG 1969

eine jährliche potentielle Evaporation von über 2000 mm.

Regenführende Winde kommen aus SW. Sie treten auf, wenn sich über Zypern Tiefdruckgebiete ausbilden (IONIDES & BLAKE 1939, 23). Heiße, staubführende Winde (Khamazin) wehen aus östlicher oder südöstlicher Richtung, vereinzelt schon im Winter, aber vor allem im Frühjahr. In den Sommermonaten herrschen Westwinde vor. Neben diesen Winden treten häufig Windhosen auf. Sie wirbeln Bodenmaterial hoch und ziehen als hohe Staubtrombe durch die Wüste.

Die Beeinflussung durch chemische Verwitterung ist in der Wüstenzone infolge mangelnder Feuchtigkeit weitgehend gehemmt, sie wird aber in westlicher Richtung auf dem humideren Plateau allmählich stärker. Die Bodendurchfeuchtung ist außer in den Wadiläufen allgemein gering. Substanzverlagerungen im Bodenprofil beschränken sich meist auf Salz- und Carbonatanreicherungen in unterschiedlicher Intensität und Tiefe. Eine chemische Verwitterung tritt kaum auf, da der Boden infolge der hohen potentiellen Evaporation und des fehlenden oberflächennahen Grundwassers schnell austrocknet. Demgegenüber bedingen die hohen Temperaturen, aber noch mehr der Temperaturwechsel eine starke physikalische Verwitterung. Diese wird insbesondere in der Flintsteinwüste wirksam. Die dunklen Steine erwärmen sich sehr leicht, geben aber als starke Strahler diese Wärme nachts wieder an die Atmosphäre ab (KOHLRAUSCH 1960, 408). Die Starkregen fördern in dem hängigen, fast steinfreiem Gelände des Plateaus die Erosion. Diese Gefahr ist in der mit Flintsteinen übersäten Wüstenzone eingeschränkt. Doch in beiden Gebieten wird die Bodenoberfläche verschlammmt. Die trockenen Winde und die Windhosen transportieren größere Mengen Feinboden. Dadurch erfolgt eine Sortierung des Bodenmaterials. Andere Böden werden abgetragen oder von Windsedimenten überdeckt.

Allerdings ist hervorzuheben, daß am Bodenprofil deutliche morphologische Unterschiede vorhanden sind, die sehr wahrscheinlich auf ältere Bodenbildungsprozesse zurückzuführen sind. Für den Fall, daß dies zutrifft, müßten bestimmte Horizonte als fossil angesehen werden. Diese Annahme wird durch Untersuchungen GRÜNEBERGS (mündl. Mitteilung) in anderen Gebieten Jordaniens gestützt.

3.5 Anmerkungen zum Paläoklima

Die Ausbildung von teilweise mächtigen Carbonatanreicherungs-horizonten in tieferen Bodenabschnitten sowie fossiler Horizonte legt die Annahme nahe, daß die Böden des Arbeitsgebietes schon humideren Klimaten ausgesetzt waren.

Die Ablagerung des bodenbildenden Materials erfolgte vorwiegend seit dem Pleistozän. Die Möglichkeit einer klimatischen Beeinflussung des Bodensubstrates besteht somit schon lange. Eine ausführliche Übersicht der Arbeiten, die das Klima des Vorderen Orients im Pleistozän behandeln, geben HUCKRIEDE & WIESEMANN (1968). In den angeführten Arbeiten werden jedoch widersprüchliche Ansichten vertreten. Für das Würm - Hauptpluvial wiesen HUCKRIEDE & WIESEMANN die Existenz eines ausgedehnten Süßwassersees (doppelte Größe des Bodensees) im El Jafr - Becken nach. Dies deutet auf höhere Niederschläge im Einzugsgebiet des Jafr - Beckens hin. Auf das Würm - Hauptpluvial folgte eine Trockenzeit (post - Lisan - Trockenzeit). Im Jungwürm war das Klima erneut feucht. Unsicher ist, ob die größere Humidität die Folge einer Pluvialzeit oder einer allgemeinen Temperaturabsenkung war. Nach FRENZEL (zit. in HAUDE 1969) trat während der letzten Eiszeit auf dem ganzen Erdball eine Temperaturdepression auf. Dies nimmt auch MENSCHING für Marokko (1955, 75) und FLOHN (zit. in MENSCHING 1953, 15) für die inneren Tropen an. HAUDE (1969) schließt die Möglichkeit einer höheren Humidität in Palästina zur Würm - Kaltzeit als Folge von niedrigeren Temperaturen nicht aus. Als Merkmale einer Temperaturdepression in Jordanien führt BENDER (1968, 96/97) Steinmuster auf Böden aus dem südlichen und südöstlichen Wüstengebiet Jordaniens an, von denen er annimmt, daß sie durch Frostwirkung entstanden sind. Diese Böden bestanden schon im mittleren Acheuléen bis Micoque und damit schon während des Hauptpluvials der Würm - Kaltzeit, wie BENDER anhand von Fauskeilfunden nachweisen konnte.

3.6 Vegetation

Der Bewuchs der Böden hängt von der Menge der Niederschläge ab. Daher ist die Vegetation im Plateau dichter als im Wüstengebiet. Ein den Boden vollständig bedeckender Pflanzenwuchs tritt aber in keinem der Gebiete auf. Am stärksten ist die Vegetation noch in den Wadiläufen entwickelt, da hier dem Boden die größten Wassermengen zugeführt werden. Im Wüstengebiet wird der Pflanzenwuchs auch durch die dichte Flintsteindecke beeinträchtigt. Doch im Frühjahr überzieht selbst diese Flächen ein grüner Schimmer. Kurzfristig zeigt sich überall pflanzliches Leben. Mit einer geringen Humusanreicherung kann daher gerechnet werden.

Nach Büttner* gehören die im Arbeitsgebiet vorkommenden Pflanzen den Chenopodiaceae, Compositae und Tubiflorae an. Am weitesten verbreitet sind die Chenopodeaceae. Die Compositae meiden im allgemeinen Mergel, treten aber in mehreren Arten an besonders trockenen und an salzhaltigen Standorten auf. Sie bevorzugen die Feuersteinwüste. Die Tubiflorae sind an etwas 'feuchteren' Standorten bzw. auf salzfreien Böden anzutreffen, wie z.B. in den Wadis oder deren näherer Umgebung. Mergel als Standort bevorzugen vor allem der Korbblütler (Compositae) *Artemisia herba alba*, aber auch der Schmetterlingsblütler (Papilionaceae) Dornstragant, das Tamariskengewächs (Tamaricaceae) *Resumuria alternifolia* (?) und die Zeitlose *Colchicum ritchii* oder *c. deserti syriaci*.

* Herrn Oberstudienrat BUTTNER (ehemals Deutsche Oberschule Beirut, Libanon) sei an dieser Stelle für die Bestimmung der im Arbeitsgebiet vorkommenden Pflanzenarten gedankt.

3.7 Einfluß des Menschen

In der Wüstenzone kommt der menschlichen Tätigkeit keine Bedeutung für die Bodenbildung zu. Im Plateau ist der Boden den Huftritten der weidenden Herden ausgesetzt, wodurch ein plattiges Gefüge entstehen kann. Die Humusanreicherung wird eingeschränkt durch übermäßiges Beweiden und durch Roden von Sträuchern zur Brennholzgewinnung. Bei dem südlich Udruh gelegenen Tell Abara wird am Hangfuß Getreidebau betrieben (Trockenfeldbau). Der Ackerbau war vermutlich früher stärker als heute verbreitet. Zeugen hierfür sind noch reichlich zu finden, z.B. eine größere Kanatanlage am Oberlauf des Wadi Qā'. Eine Wassermühle aus der Römerzeit steht noch bei Udruh.

3.8 Einteilung der Böden des Untersuchungsgebietes

Bodenkundliche Untersuchungen wurden im Einzugsgebiet des Jafr - Beckens bereits von mehreren Autoren durchgeführt (MOORMAN 1959, GRÜNEBERG & DAJANI 1964, WILLIMOTT & Mitarb. 1964, AL-HARDAN 1967, GRÜNEBERG 1969 sowie von der bodenkundlichen Abteilung der jordanischen Natural Resources Authority 1967 und 1968). Diese Arbeiten beschäftigen sich überwiegend mit der Eignung der Böden für eine landwirtschaftliche Nutzung. Eine ausführliche systematische Gliederung nach morphogenetischen Merkmalen gibt MOORMAN (1959).

MOORMAN gliedert die Böden in zonale und azonale Böden. Eine Zonalität der Böden ist aufgrund des von E nach W humider werdenden Klimas zu erwarten. In dieser Richtung reihen sich 'Gray Desert Soils' (Niederschläge unter 150 mm/Jahr) und 'Yellow Soils' (etwa 150 - 250 mm/Jahr) aneinander. Als azonale Böden wurden 'Regosols' aus Mergel untersucht, welche insbesondere im Plateau auftreten.

KUBIENA (1953), DEWAN (1959), DUDAL, TRAVERNIER & OSMOND (1966) bezeichnen die in dieser Arbeit beschriebenen 'Gray Desert Soils' als Sierozeme. Die 'Yellow Soils' sind nahe Verwandte der 'Brown Soils'. Sie unterscheiden sich von diesen jedoch dadurch, daß sie im Oberboden braun bis gelblich sind und im ganzen Profil einen hohen Carbonatgehalt aufweisen (DEWAN 1959). STREBEL (1965) berichtet auch von carbonatarmen bis carbonatfreien 'Yellow Soils', die aus Basalt entstanden. Nach HARPER (1957) sind die 'Yellow Soils', vermutlich aber auch die 'Gray Desert Soils', als 'Calcisols' zu bezeichnen, da beide Bodentypen Carbonatanreicherungshorizonte (Ca-Horizonte) aufweisen. Im System der 7th Approximation (U.S. DEPT. AGRIC. 1960) gehören beide Böden zur 'Order' Aridosol bzw. zur 'Great Group' Calcic Camborthids.

Auf der Grundlage der Untersuchungen von MOORMAN (1959) werden im Folgenden die angeführten Böden hinsichtlich ihrer wichtigsten Merkmale beschrieben.

3.8.1 'Gray Desert Soils'

'Gray Desert Soils' entstanden aus fluviatil oder kolluvial umgelagerten Carbonat- aber auch aus Basaltgesteinen. Infolge des ariden Klimas und der starken Erosion sind diese Böden nur schwach entwickelt. Sie weisen daher nur selten einen Humusanreicherungshorizont auf und sind hinsichtlich der chemischen und mineralogischen Eigenschaften dem Ausgangsmaterial ähnlich. Auffallendstes Merkmal der 'Gray Desert Soils' ist der dichte Steinbelag der Bodenoberfläche. Die Steine haben überwiegend dunkle Eisen - Manganüberzüge, deren Entstehung auf Mikroorganismen-tätigkeit zurückgeführt wird (KRUMBEIN 1969). Die oberen 3 - 10 cm des Bodenprofils weisen häufig eine rötlichere Farbe als die tieferliegenden Horizonte auf, die von zahllosen Carbonatkonkretionen durchsetzt sind. Teilweise

verdichten sich die Carbonatkonkretionen zu durchgehenden Ca - Horizonten. Als Bodenart tritt vorwiegend im ganzen Profil schluffiger Lehm oder schluffig - toniger Lehm auf. Häufig kann eine Oberflächenversalzung beobachtet werden. Mit zunehmender Humidität des Klimas gehen die 'Gray Desert Soils' in 'Yellow Soils' über.

3.8.2 'Yellow Soils'

Die 'Yellow Soils' haben sich überwiegend aus kolluvialen Ablagerungen entwickelt, deren Material vor allem von verwitterten Kalksteinen und Kreidegesteinen abstammt. Daneben treten 'Yellow Soils' aus lößähnlichen Sedimenten auf. Die Bodenoberfläche der 'Yellow Soils' ist nur schwach erodiert. Daher fehlt diesen Böden die dichte dunkle Steindecke der 'Gray Desert Soils'. In stark beweideten Gebieten ist der oberste Horizont verkrustet. Unter dem noch ariden Klima und auf dem carbonathaltigen Ausgangsgestein vollzieht sich die Bodenbildung nur langsam. Eine deutliche Horizontierung, insbesondere hinsichtlich der Farbe, ist infolgedessen nur selten zu beobachten. Das 'Yellow Soil' - Profil weist vorwiegend eine gelblichbraune Farbe auf. Nahe der Bodenoberfläche (0,5 - 2 cm) sind geringe Gehalte an organischer Substanz zu beobachten. Als ein weiteres besonderes Kennzeichen der 'Yellow Soils' führt MOORMAN die Konsistenz der Aggregate im A- und B - Horizont an. Die Aggregate dieser Horizonte sind mürb. Sie lassen sich daher sehr leicht zerreiben. In etwa 20 - 45 cm u.G. geht der B - Horizont allmählich in einen Cca - Horizont über. Außer 'Yellow Soils' treten im Plateau als zonale Böden 'Yellow Mediterranean Soils', in besonders niederschlagsreichen Gebieten 'Red Mediterranean Soils' auf. 'Yellow Mediterranean Soils' und 'Red Mediterranean Soils' oder

diesen nahestehende Bodenbildungen wurden jedoch im Arbeitsgebiet nicht angetroffen. 'Gray Desert Soils' und 'Yellow Soils' sind häufig mit den azonalen 'Regosols' vergesellschaftet. Im Arbeitsgebiet wurden 'Regosols' aus Mergel untersucht.

3.8.3 'Regosols'

MOORMAN (1959) beschreibt die 'Regosols' als flachgründige, aus Lockergesteinen hervorgegangene Bodenbildungen. Aus dem Ausgangsgestein hat sich lediglich ein schwach ausgeprägter Bodenhorizont entwickelt.

4. Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften der Böden.

Im Folgenden werden die morphologischen und chemischen Merkmale der Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien beschrieben. Die Ergebnisse der Infiltrationsmessungen ergänzen diese Angaben.

Die Lage der Profile ist aus Abb. 1 ersichtlich.

4.1 'Gray Desert Soils' im Gebiet Wadi Arja

4.1.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile

Die entlang des Wadi Arja untersuchten 'Gray Desert Soil' - Profile reihen sich EW - Richtung über eine Entfernung von ca. 10 km aneinander. Zwischen den Profilen 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6 besteht jeweils ein Abstand von 500 bis 1000 m.

Die Profile 1 und 2 liegen zwischen den südlichen Armen des Wadi Arja auf Inseln. Daran schließen sich in nordwestlicher Richtung die Profile 3 und 4 an, die sich auf einer größeren Ebene befinden. Am weitesten westlich, bereits am Übergang zum Bergland, sind die Profile 5 und 6 anzutreffen. Die Geländeoberfläche ist bei allen Profilen fast eben und weist ein nach E gerichtetes Gefälle von etwa 1 ‰ auf. Bei Profil 5 erreicht das Gefälle 2 ‰. Das Ausgangsmaterial für die im Gebiet Wadi Arja untersuchten schluff- und carbonatreichen Böden stellen fluviatile und äolische Sedimente des Pleistozän, die durch spätere Umlagerung vermischt wurden (HEIMBACH 1962, 23). Eine dunkle Flintsteindecke überzieht die aus diesen Sedimenten entstandenen Böden (Abb. 9). Besonders dicht ist dieser Steinbelag bei den Profilen 2, 3, 4 und 6. Bei Profil 1 tritt der Steinbelag fleckenhaft auf.

Unter dem Steinbelag tritt bei einigen Profilen ein schwach humoser Horizont auf (Tab. 5 u. 6). Bis in etwa 70 bis 110 cm weisen die Profile einen schwachen Kiesgehalt auf. Darunter folgt allgemein eine Kiesschicht, die durch Carbonate mehr oder weniger verfestigt ist. Der Feinboden besteht in den oberen Horizonten überwiegend aus schluffigem Lehm. Er geht in etwa 20 - 30 cm u.G. in schluffig-tonigen Lehm über. Bei fast jedem der Profile ist das Gefüge im obersten Horizont plattig. Daran schließt sich überwiegend feinkörniges Gefüge an (Abb. 10). Mit zunehmender Bodentiefe treten größere Polyeder und Subpolyeder auf, die allmählich in ein kohärentes Gefüge übergehen. Außer durch diese Gefügeabfolge wird der Profilaufbau noch wesentlich durch die Carbonatverteilung und die damit teilweise verbundene Farbänderung gekennzeichnet. Die höchsten Carbonatgehalte sind dicht unter der Bodenoberfläche und in tieferen Horizonten festzustellen (Tab. 5 und 6). In den flacher liegenden Horizonten können häufig Carbonatkonkretionen (Abb. 11) beobachtet werden, die sich mit ansteigenden Carbonatgehalten im Unterboden zu Ca - Horizonten verdichten (Abb. 12).



Abb.9 Flintsteindecke

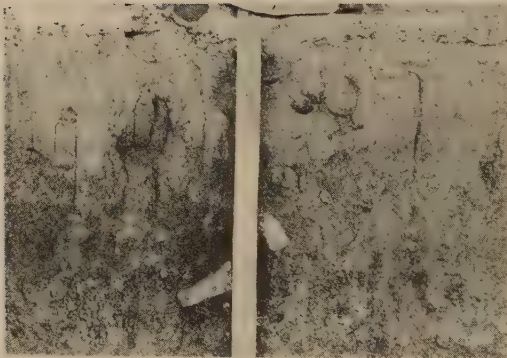


Abb.10 Platten- und feinkörniger Gefüge-
horizont ('Gray Desert Soil' - Prof.8)



Abb. 11 Carbonatkonkretionen
(Gray Desert Soil)

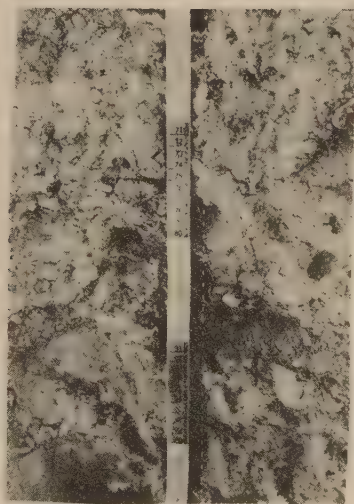


Abb. 12 Ca-Horizont
(Gray Desert Soil)

Wie die Analysendaten erkennen lassen (Tab. 5 u. 6), zeigen die Böden eine schwach alkalische Reaktion. Mehrfach kommen die höchsten pH - Werte in den oberflächen-nahen plattigen Horizonten vor, was mit dem geringeren Salzgehalt im Zusammenhang stehen mag (PASCAUD & MINART 1963, 1). Im übrigen sind die Böden stark salzhaltig. Der Salzgehalt steigt unter der Bodenoberfläche an, erreicht etwa in 20 - 40 cm u.G. die höchste Konzentration und fällt im Unterboden wieder ab. Die Böden im Gebiet Wadi Arja enthalten als dominierende Salze Natrium- und Calciumchloride. Da die Böden nicht grundwasserbeeinflusst sind, findet man hier einen Versalzungstyp, der dem der 'relikten trockenen Chloridsolontschaken' (nach KOVDA 1961) ähnlich ist.

Die an den Profilgruben gelegenen Infiltrationsmeßstellen wurden aufgegraben und fotografiert. Diese Aufnahmen sind in den Abb. 13 u. 14 wiedergegeben. Die Meßstellen weisen bis auf geringfügige Abweichungen die gleiche Beschaffenheit wie die Profile auf.

Der Aufbau der einzelnen Profile geht aus den Skizzen in Abb. 15 u. 16 sowie nachstehenden Beschreibungen hervor:

Profil 1, Koordinaten: 223.360 E, 980.060 N; Höhe NN 1064 m.

- (1) 0- 3 cm rosa bis rötlichgelber (7,5 YR 7/6, tr.*) bzw. rötlichgelber (7,5 YR 6/6, f.*) mittelkiesiger, feinsandiger bis schluffiger Lehm, von 0-2,5 cm grobplattig, von 2,5-5 cm feinplattig, leicht zerdrückbar.
- (2) 3- 7 cm hellbrauner bis rötlichgelber (7,5 YR 6/4-7/6, tr.) bzw. gelblichroter (5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinkörnig bis feinplattig, locker.
- (3) 7- 11 cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. gelblichroter (5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinsubpolyedrisch bis feinplattig, zerdrückbar.
- (4) 11- 40 cm gelblichroter (5 YR 5/6-8, tr. bzw. 5 YR 5/8, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm bis schluffig - toniger Lehm, feinpolyedrisch bis kohärent, zerdrückbar, verzelte Carbonatkongregationen.

* tr. trocken

* f. feucht

Tab. 5 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 1, 2 u. 3 (Gray Desert Soils)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃	pH	EC	Sätti- gung	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
cm	%	%		mmhos/cm	%			m v a l /	1 0 0 g				
Profil 1 *													
0- 3	-	42,9	7,7	8,1	27,3	0,5	0,2	1,6	-	0,0	0,05	1,8	0,79
3- 7	-	35,2	7,4	39,9	31,3	4,5	1,5	6,9	-	0,0	0,04	10,9	1,89
7- 11	-	28,9	7,3	55,8	32,8	8,0	3,5	8,3	-	0,0	0,04	16,0	3,75
11- 27	-	24,7	7,3	52,0	34,7	7,5	3,7	8,7	-	0,0	0,03	16,1	3,80
27- 40	-	23,0	7,3	57,1	36,0	8,5	4,0	8,6	-	0,0	0,04	18,3	2,70
40- 62	-	22,8	7,3	51,7	42,6	8,6	4,7	9,6	-	0,0	0,05	18,6	4,34
62- 82	-	28,5	7,4	40,8	45,3	7,4	3,9	7,9	-	0,0	0,05	15,5	3,64
Profil 2 *													
0- 5	-	39,1	7,5	15,6	29,1	1,1	0,6	2,7	-	0,0	0,03	3,1	1,36
5- 20	-	27,6	7,2	62,4	34,3	9,1	5,1	7,5	-	0,0	0,05	17,6	4,03
20- 41	-	22,8	7,2	74,1	33,9	11,3	5,6	9,5	-	0,0	0,05	20,3	5,94
41- 59	-	26,6	7,2	69,5	34,9	9,6	5,3	8,8	-	0,0	0,04	20,2	4,40
59- 78	-	32,2	7,3	47,0	36,9	6,5	3,5	7,6	-	0,0	0,05	14,9	2,75
78- 86	-	36,1	7,4	44,7	33,4	5,5	3,2	6,7	-	0,0	0,05	12,9	2,42
86-105	-	38,0	7,3	34,2	34,8	3,8	2,9	5,6	-	0,0	0,05	10,0	2,17
Profil 3													
0- 6	1,33	30,3	7,8	22,8	27,7	2,2	0,8	5,4	0,022	0,0	0,04	6,1	1,58
6- 20	0,67	26,8	7,9	7,3	35,3	0,9	0,4	1,8	0,004	0,0	0,08	1,9	0,81
20- 34	0,24	27,6	7,9	9,2	41,2	1,4	0,6	3,4	0,004	0,0	0,06	2,8	2,00
34- 46	0,38	21,1	8,1	8,8	44,5	0,8	0,3	3,6	0,003	0,0	0,10	3,3	1,01
46- 81	0,47	30,6	7,9	5,5	45,1	1,3	0,5	1,9	0,003	0,0	0,08	0,6	2,77
81-112	0,60	41,0	8,0	16,0	48,6	2,2	1,1	7,2	0,005	0,0	0,04	6,1	3,34
112-150	0,26	43,1	8,4	21,1	56,0	1,8	1,3	13,9	0,011	0,0	0,15	8,3	6,86

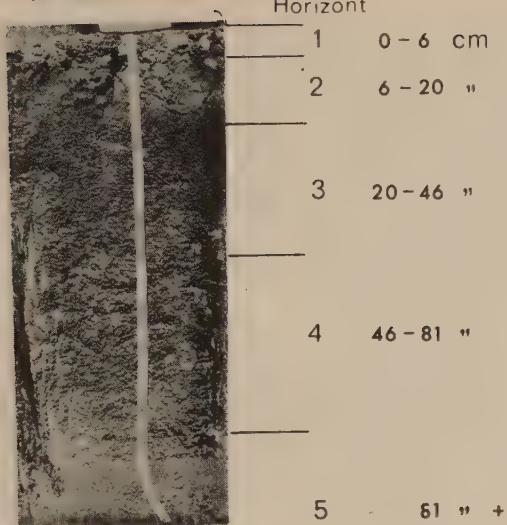
* GRÜNEBERG (1969) Profil 69 und 70

Tab. 6 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 4, 5 u. 6 (Gray Desert Soils)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃ - gehalt	pH Paste	EC mmhos/cm	Sätti- gung %	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
cm	%	%											
Profil 4													
0-4	0,73	30,9	7,7	11,2	31,3	0,9	0,3	2,7	0,020	0,0	0,04	3,1	0,28
4-12	0,71	33,7	7,7	31,5	29,5	2,5	1,0	8,7	0,050	0,0	0,04	9,1	1,48
12-17	0,47	24,6	7,4	60,9	31,7	10,2	4,6	15,5	0,053	0,0	0,03	24,2	1,10
17-24	0,64	23,7	7,2	59,6	31,8	13,8	5,5	14,0	0,020	0,0	0,02	26,4	0,87
24-48	0,64	29,2	7,3	69,9	39,1	21,7	6,1	17,6	0,009	0,0	0,03	37,4	0,19
48-82	0,57	36,1	7,3	54,4	39,8	13,3	3,9	14,9	0,006	0,0	0,04	29,0	0,05
82-116	-	46,7	7,7	27,0	42,4	4,2	1,2	9,6	0,005	0,0	0,03	12,9	1,24
116-152	-	38,1	7,6	28,6	35,4	3,3	1,6	7,8	0,007	0,0	0,05	11,0	0,61
Profil 5													
0-4	1,22	28,7	7,7	13,6	27,3	2,3	0,4	2,4	0,019	0,0	0,04	3,6	0,11
4-10	0,93	30,2	7,6	33,2	32,6	4,3	1,7	7,8	0,021	0,0	0,03	12,7	0,04
10-22	1,24	30,7	7,4	67,0	37,4	14,8	6,8	18,3	0,017	0,0	0,04	35,9	1,08
22-30	0,93	43,7	7,5	67,0	44,4	16,0	7,1	19,3	0,010	0,0	0,03	38,0	1,21
30-42	0,85	60,0	7,3	84,1	54,9	25,0	12,5	37,0	0,008	0,0	0,07	68,2	1,00
42-64	0,90	63,9	7,4	54,5	52,2	13,9	7,3	19,3	0,007	0,0	0,06	36,1	0,81
64-108	0,53	59,4	7,7	23,1	52,3	3,2	1,4	9,4	0,006	0,0	0,09	12,4	0,84
Profil 6*													
0-5	-	32,6	7,4	19,5	30,2	2,3	0,5	3,0	-	0,003	0,04	5,2	0,49
5-16	-	29,8	7,1	70,0	34,4	11,7	4,1	9,1	-	0,0	0,05	22,5	2,27
16-23	-	31,6	7,2	89,0	39,2	19,1	6,0	11,2	-	0,0	0,04	34,9	1,35
23-65	-	31,3	7,2	73,5	41,5	15,8	6,1	10,0	-	0,0	0,06	29,3	2,56
65-75	-	38,7	7,2	65,0	57,3	16,7	7,5	14,1	-	0,0	0,08	32,8	5,49

* GRÜNEBERG (1969) Profil 66

Profil 3



Profil 4

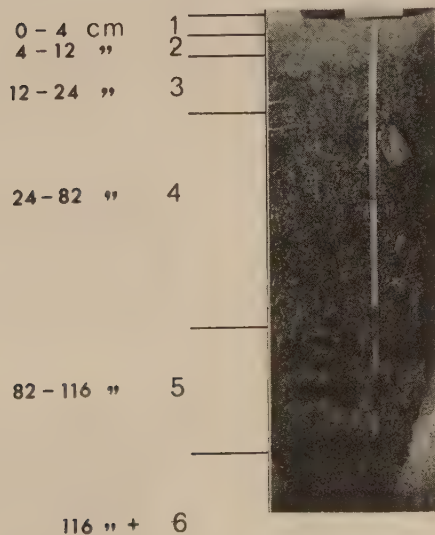
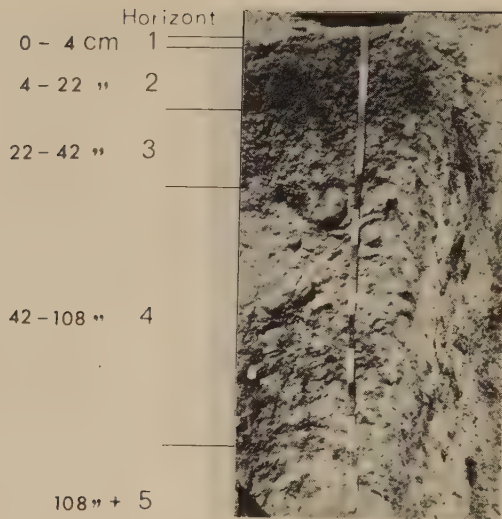


Abb.13 'Gray Desert Soil'- Profile

Profil 5



Profil 6

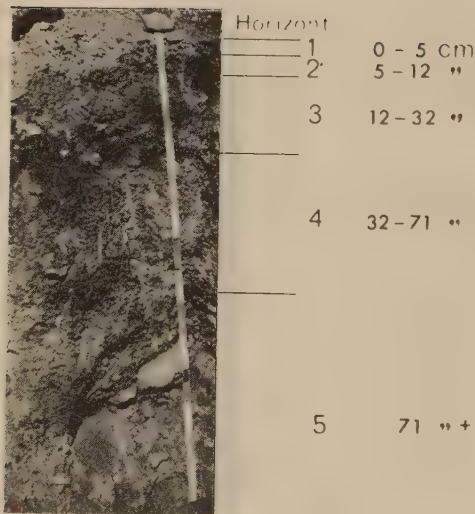


Abb. 14 'Gray Desert Soil'- Profile

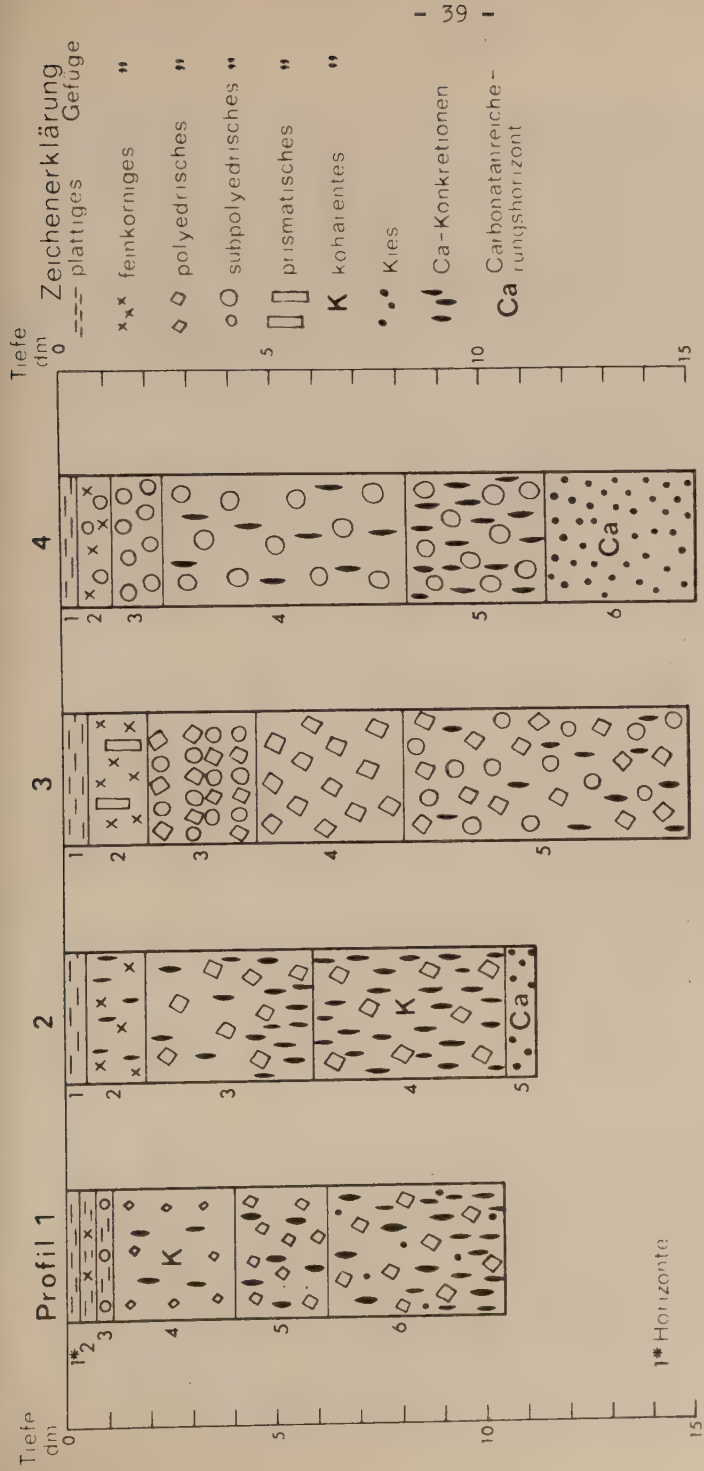


Abb.15 Skizzen (schematisch) der Profile 1-4 (Gray Desert Soils)

Zeichenerklärung zu Abb. 16

---	plattiges	Gefüge
x x x	feinkorniges	"
◇ ◇	polyedrisches	"
○ ○	subpolyedrisches	"
▢ ▢	prismatisches	"
○	säulenförmiges	"
⊗ ⊗	krümeliges	"
K	kohärentes	"
• • •	Kies	
! ! !	Ca-Kongregationen	
□ □ □	Kalkstein	
Ca Ca	Karbonatanreicherungszone	
* * *	Gips	
2 *	Horizontbezeichnung	

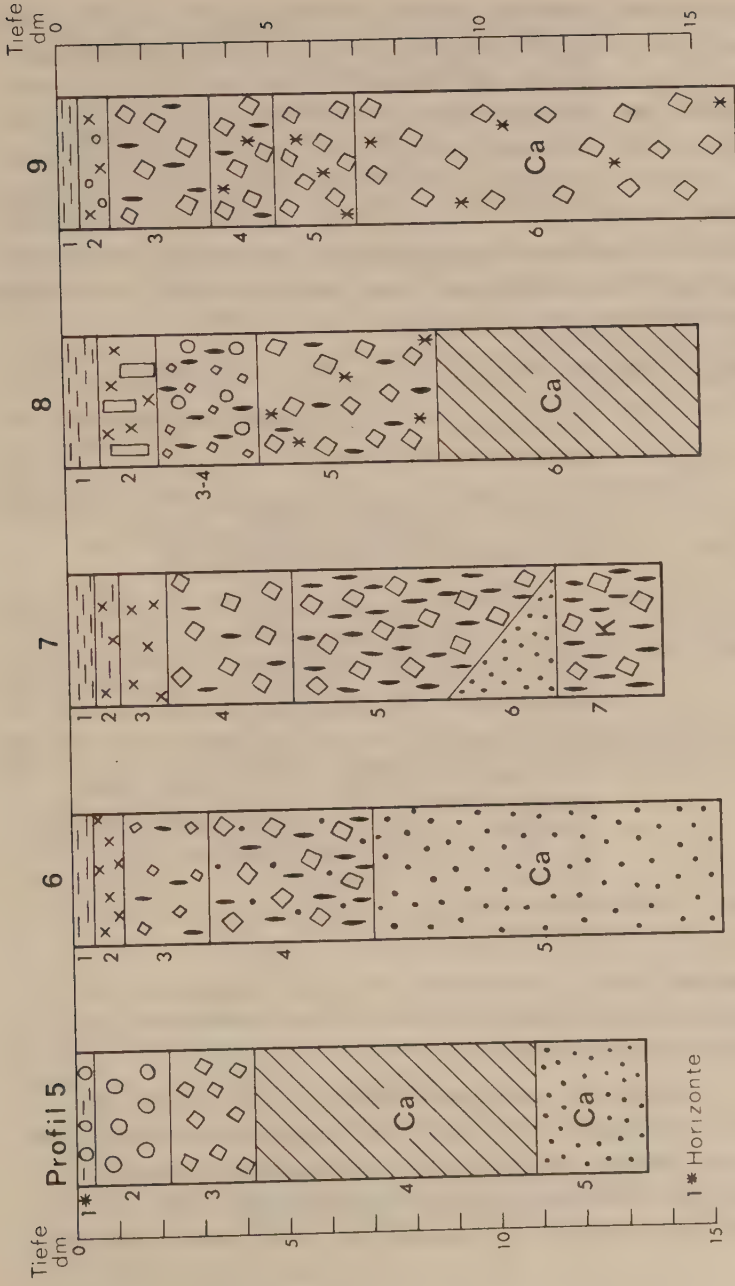


Abb.16 Skizzen (schematisch) der Profile 5-9 (Gray Desert Soils)

- (5) 40- 62 cm gelblichroter (5 YR 5/6, tr. bzw. 5 YR 5/8, f.) schwach kiesiger schluffig - toniger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, zahlreiche Carbonatkonkretionen.
- (6) 62-104 cm gelblichroter bis intensiv brauner (5 YR 5/6-7, 5 YR 5/6, tr.) bzw. rötlichbrauner (5 YR 5/4, f.) mittel bis stark kiesiger und steiniger schluffiger Lehm, polyedrisch, verfestigt, zahlreiche Carbonatkonkretionen.

Das Profil 2 besteht im Gegensatz zu den übrigen Profilen, einheitlich aus schluffigem Lehm, abgesehen vom (1) - Horizont, in dem feinsandiger Lehm auftritt.

Profil 2, Koordinaten: 222,600 E, 980,310 N; Höhe NN 1073 m.

- (1) 0- 5 cm rosa (7,5 YR 7/4, tr.) bzw. hellbrauner (7,5 YR 6/4, f.) feinsandiger Lehm, grobplattig, zerdrückbar.
- (2) 5- 19 cm rötlichgelber (5 YR 7/6, tr.) bzw. gelblichroter bis intensiv brauner (5 YR 5/8-7, 5 YR 5/6, f.) schluffiger Lehm, feinkörnig, zahlreiche Carbonatkonkretionen.
- (3) 19- 59 cm rötlichgelber (5 YR 6/6, tr.) bzw. gelblichroter bis intensiv brauner (5 YR 5/6-7, 5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, polyedrisch mit Neigung zur Prismenbildung, kaum zerdrückbar, mit der Tiefe ansteigende Gehalte an Carbonatkonkretionen.
- (4) 59-105 cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. rötlichgelber bis intensiv brauner (7,5 YR 5/8-6/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinpolyedrisch bis kohärent, nicht zerdrückbar, zahlreiche Carbonatkonkretionen, ab 78 cm allmählicher Übergang zu verfestigtem Ca - Horizont.
- (5) 105-112 cm Kiesschicht, Ca - Horizont, schwach verfestigt.

Die übrigen Profile im Gebiet Wadi Arja zeigen im (1) - Horizont geringere Feinsandgehalte als die beiden oben beschriebenen Profile.

Profil 3 weicht in mehrfacher Hinsicht von den übrigen Profilen ab. Das bis 150 cm Tiefe aufgegrabene Profil ist bis in 80 cm kiesfrei, in 80 - 150 cm schwach kiesig. Die bei den übrigen Profilen im Gebiet Wadi Arja bereits in 100 cm festgestellte Kiesschicht tritt hier nicht auf.

In 20 bis 46 cm u.G. treten subpolyedrische bis polyedrische Aggregate auf, die horizontal ausgerichtet und lamellenförmig angeordnet sind. Dieses Gefüge ist im oberen Horizontabschnitt besonders deutlich ausgeprägt. Der höchste pH - Wert wurde bei Profil 3 - abweichend von den übrigen Profilen- nicht in dem oberflächennahen Horizont mit Plattengefüge, sondern im Unterboden festgestellt. Der Salzgehalt verhält sich entgegengesetzt. Die stärkste Salzkonzentration tritt im obersten Horizont auf (Tab. 5). Es ist hier anzumerken, daß diese Profilgrube vor der Probenentnahme bereits einen Winter lang offen lag. Es kann daher die Salzverteilung durch die Winterniederschläge beeinflusst worden sein*

Profil 3, Koordinaten: 221.460 E, 981.830 N; Höhe NN 1099 m.

- (1) 0- 6 cm schwach humoser, gelblicher (10 YR 7/6, tr.) bzw. rötlichgelber (7,5 YR 6/8, f.) schluffiger Lehm, grobplattig, zerdrückbar; allmählicher Übergang in
- (2) 6- 20 cm rötlichgelben (5 YR 6/8, tr.) bzw. intensiv braunen (7,5 YR 5/6, f.) schluffigen Lehm, feinkörnig, Tendenz zu grobprismatischen Aggregaten, locker.
- (3) 20- 46 cm intensiv brauner (7,5 YR 5/6, tr. u. f.) schluffig - toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, lamellenförmig angeordnet, schwer zerdrückbar; allmählich übergehend in
- (4) 46- 81 cm intensiv braunen (7,5 YR 5/6, tr. u. f.) schluffig - tonigen Lehm, polyedrisch, schwer zerdrückbar.
- (5) 81-150 cm gelblichroter (5 YR 5/8, tr. u. f.) schwach kiesiger schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.

Bei Profil 4 konnte eine schwache Humusanreicherung im obersten Horizont, wie sie bei den Profilen 3 und 5 ermittelt wurde, nicht beobachtet werden.

Profil 4, Koordinaten: 220.370 E, 982.060 N; Höhe NN 1108 m.

- (1) 0- 4 cm blassbrauner (10 YR 7/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/6-8, f.) schluffiger Lehm, grobplattig, zerdrückbar.

* GRÜNEBERG (1969) stellte im Oktober 1967 am Profil 3 eine dem Profil 2 ähnliche Salzverteilung fest.

- (2) 4- 12 cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. intensiv brauner (7,5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinkörnig bis subpolyedrisch, zerdrückbar.
- (3) 12- 24 cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. intensiv brauner (7,5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar.
- (4) 24- 82 cm rötlichgelber bis intensiv brauner (7,5 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffig - toniger Lehm, subpolyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (5) 82-116 cm gelblichroter (5 YR 5/6, tr. bzw. 5 YR 5/8, f.) schwach kiesiger schluffig - toniger Lehm, subpolyedrisch, nicht zerdrückbar, zahlreiche Carbonatkonkretionen.
- (6) 116-152 cm Kiesschicht, Ca - Horizont, schwach verfestigt.

Profil 5 zeichnet sich durch einige besondere Gefügeeigenschaften und durch einen relativ hoch liegenden (in ca. 40 cm u.G.) Ca - Horizont aus. Der (1) - Horizont hat keine plattige, sondern eine plattige bis subpolyedrische Ausprägung. Infolge der etwas stärkeren Hangneigung wurde vermutlich das leicht dispergierbare Material des Plattenhorizontes abgetragen, möglicherweise begünstigt durch den bei Profil 5 geringeren Steinbelag der Bodenoberfläche. Auf einen Bodenabtrag deuten auch die Farben des Oberbodens und die Carbonatverteilung hin. An der Bodenoberfläche kommt es bei Profil 5 zu keiner Carbonatanreicherung. Salzgehaltsverteilung und pH - Werte entsprechen den übrigen Profilen (Tab. 6).

Profil 5, Koordinaten: 215.860 μ , 982.870 N; Höhe NN 1180 m.

- (1) 0- 4 cm schwach humoser, rosa (7,5 YR 7/4, tr.) bzw. intensiv brauner (7,5 YR 5/8, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, grob subpolyedrisch bis plattig, zerdrückbar.
- (2) 4- 22 cm schwach humoser, intensiv brauner (7,5 YR 5/8, tr. u. f.) schluffiger Lehm, grob subpolyedrisch, zerdrückbar.
- (3) 22- 42 cm hellbrauner (7,5 YR 6/4, tr.) bzw. rötlichgelber bis intensiv brauner (7,5 YR 5/6-6/6, f.) schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar.

- (4) 42-108 cm rosa (7,5 YR 7/4, tr.) bzw. rötlichgelber (5 YR 7/8-7,5 YR 7/6, f.) schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, vereinzelt Steine, kohärent, fest, nicht zerdrückbar, Ca - Horizont.
- (5) 108-134 cm Kiesschicht, Ca - Horizont, schwach verfestigt.

Profil 6 weist keine Besonderheiten auf, außer daß die Rotfärbung im Unterboden stark hervortritt.

Profil 6, Koordinaten: 215.900 E, 982.370 N; Höhe NN 1182 m.

- (1) 0- 5 cm rosa (7,5 YR 7/4, tr.) bzw. rötlichgelber (7,6 YR 6/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, grobplattig, zerdrückbar.
- (2) 5- 12 cm intensiv brauner (7,5 YR 5/6, tr. u. f.) schluffiger Lehm, feinkörnig.
- (3) 12- 32 cm gelblichroter (5 YR 5/6, tr.) bzw. rötlichbrauner (5 YR 4/6, f.) schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, im unteren Profilabschnitt mittelkiesig, feinpolyedrisch, zerdrückbar, vereinzelt Carbonatkongregationen.
- (4) 32- 71 cm dunkelroter (2,5 YR 3/6, tr. u. f.) mittelkiesiger bis steiniger schluffig - toniger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, nach unten zunehmende Gehalte an Carbonatkongregationen.
- (5) 71-153 cm Kiesschicht, teilweise mit Steinen durchsetzt, Ca - Horizont, nicht verfestigt.

4.1.2. Infiltrationseigenschaften

Die auf unbearbeiteten Meßstellen gewonnenen Infiltrationsraten sind bei den Profilen niedrig und liegen innerhalb enger Grenzen (Tab. 7). Hiervon ausgenommen ist Profil 5. Nach flacher Bodenbearbeitung treten höher Infiltrationsraten auf. Der Anstieg der Infiltrationsraten nach dem Umgraben weist darauf hin, daß die Infiltrationsraten durch eine plattige Ausprägung des (1) - Horizontes herabgesetzt werden.

Im unbearbeiteten Zustand wurde bei Profil 5 abweichend von den übrigen Profilen eine höher Infiltrationsrate

festgestellt. Wie oben ausgeführt, zeichnet es sich dadurch aus, daß im obersten Horizont kein ausgeprägtes plattiges Gefüge auftritt. Schwächere Unterschiede zwischen den Einzelmessungen können durch eine unvollkommene Ausbildung des plattigen Gefüges im (1) - Horizont, oder auch durch höhere Feinsandgehalte, wie sie z.B. bei den Profilen 1 und 2 auftreten, erklärt werden.

Tab. 7 Infiltrationsraten in mm/h, Profil 1 bis 6
(Gray Desert Soil)

Meßstelle / Profil	1	2	3	4	5	6
1 auf un-	1	3	2	3	43	1
2 bearbei-	6	5	10	3	15	1
3 tetem						
3 Boden	1	4	3	11	15	1
4 auf be-	15	18	17	3	19	12
5 arbei-	4	38	5	24	9	21
6 tetem						
6 Boden	7	30	17	18	3	12
7	18	20	23	6	15	9
8	4	20	4	14	26	10
9	<u>19</u>	<u>18</u>	<u>6</u>	<u>14</u>	12	<u>15</u>
10	-	-	-	-	<u>5</u>	-

Nach flacher Bearbeitung streuen die Infiltrationsraten zwischen den Meßstellen auffallend stark. Daher sollten zur Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften des jeweiligen Profiles hauptsächlich der direkt am Profil gemessene Wert herangezogen werden (in Tab. 7 unterstrichen). Die Infiltrationsraten sämtlicher Meßstellen lassen sich, wenn auch nur schwach ausgeprägt, in 2 Häufigkeitsgruppen aufteilen und zwar mit Werten um 5 mm/h und 14 - 18 mm/h. Die Gruppe mit niedrigen Infiltrationsraten repräsentieren die Profile 3 und 5, die sich auch durch eine lamellenförmige Anordnung der Aggregate in 20 - 45 cm Tiefe bzw.

durch einen bereits in 40 cm beginnenden Ca - Horizont auszeichneten.

4.2 'Gray Desert Soils' im Gebiet Wadi Bureika

4.2.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile

Das Gebiet am Wadi Bureika bildet den östlichen Abschluß der zweiten Profilreihe.

Die Profile 7, 8 u. 9 bilden ein Dreieck mit 1 km Seitenlänge (Abb. 1). Profil 8 liegt am nördlichsten. Es wird von den beiden übrigen Profilen durch ein ca. 160 m südlich liegendes kleineres Wadi getrennt. Profil 7 befindet sich südöstlich und Profil 9 südwestlich von Profil 8. Bei Profil 8 und 9 ist das Gelände fast eben und ohne Gefälle. Die Bodenoberfläche von Profil 7 weist 1 bis 2 % Gefälle auf. Das Ausgangsmaterial besteht wiederum aus fluviatilen und äolischen Sedimenten, die umgelagert und von dunklen Flintsteinen überdeckt sind. Der Steinbelag von Profil 8 ist besonders dunkel und dicht. Die Steine an der Bodenoberfläche der Profile 7 und 9 sind dagegen etwas heller und bilden keine lückenlose Decke. Wie die in Tab. 8 angeführten Analysenergebnisse und die folgenden Profilbeschreibungen sowie die Profilskizzen (Abb. 16, S.41) zeigen, entsprechen die Böden im Gebiet Wadi Bureika etwa denen im Gebiet Wadi Arja. Sie sind ebenfalls carbonat-, salz- und schluffreich, und weisen annähernd gleiche Gefügeschichtung, Carbonat- und Salzgehaltsverteilung, Salzzusammensetzung und schwach alkalische Reaktion auf.

Im einzelnen besitzen die drei am Wadi Bureika untersuchten Profile folgenden Aufbau:

Tab. 8 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 7 u. 9 (Gray Desert Soils)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃ - gehalt	pH	EC	Sätti- gung	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
cm	%	%		mmhos/cm	%								
Profil 7													
0-5	0,26	32,6	7,7	6,0	28,4	0,7	0,3	0,8	0,019	0,0	0,03	1,3	0,30
5-8	0,57	29,1	7,9	8,3	30,3	0,5	0,2	2,0	0,021	0,0	0,02	1,8	0,48
8-12	0,29	29,2	7,8	12,4	35,7	1,0	0,4	3,3	0,031	0,0	0,04	3,4	0,96
12-17	0,66	25,7	7,6	33,2	37,3	6,8	3,8	5,8	0,034	0,0	0,04	11,6	1,41
17-23	0,53	26,3	7,5	33,2	37,2	8,4	4,6	5,6	0,021	0,0	0,05	12,8	1,38
23-53	0,38	27,9	7,5	42,5	40,6	12,9	6,4	6,2	0,007	0,0	0,04	12,2	1,13
53-90/ 115	0,83	29,0	7,7	7,6	43,2	1,7	0,9	1,8	0,005	0,0	0,05	1,9	1,97
90/115-115	0,48	30,6	7,5	28,6	44,5	7,5	4,2	5,0	0,007	0,0	0,03	13,3	1,37
115-140	0,76	33,8	7,5	35,1	38,8	8,7	4,6	4,9	0,006	0,0	0,03	15,5	0,54
Profil 9 *													
0-5	-	32,9	7,9	2,5	28,4	0,1	0,1	0,5	-	0,0	0,05	0,4	0,22
5-16	-	27,7	7,6	16,0	32,3	-	-	3,2	-	0,0	0,04	3,5	1,57
16-39	-	38,0	7,4	34,5	38,6	4,8	2,3	6,0	-	0,0	0,04	10,9	2,14
39-58	-	36,1	7,1	15,1	48,0	2,1	1,3	3,7	-	0,0	0,06	4,3	2,70
58-77	-	55,1	7,5	25,4	67,7	6,0	3,2	7,9	-	0,0	0,08	13,4	3,61
77-90	-	66,5	7,7	4,9	65,6	1,8	0,5	0,9	-	0,0	0,08	0,8	2,30

* GRÜNEBERG (1969) Profil 90

Profil 7, Koordinaten: 219.960 E, 972.500 N; Höhe NN 1114 m.

- (1) 0- 5 cm rosa bis rötlichgelber (7,5 YR 7/4-7/6, tr.) bzw. rötlichgelber (7,5 YR 6/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, plattig, leicht zerdrückbar.
- (2) 5- 12 cm rosa (7,5 YR 7/4, tr.) bzw. rötlichgelber (7,5 YR 6/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinplattig bis feinkörnig, locker, leicht zerdrückbar.
- (3) 12- 23 cm blassbrauner (10 YR 7/4, tr.) bzw. intensiv bis gelblichbrauner (7,5 YR 5/6-10 YR 5/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinkörnig, sehr locker.
- (4) 23- 53 cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. intensiv brauner bis rötlichgelber (7,5 YR 5/6-6/6, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, polyedrisch, locker, rissig, schwer zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (5) 53-90/ cm rötlichgelber (7,5 YR 6/6, tr.) bzw. intensiv brauner bis rötlichgelber (7,5 YR 5/8-6/8, f.) schluffiger Lehm, polyedrisch bis kohärent, nicht zerdrückbar, zahlreiche Carbonatkonkretionen.
115
- (6) 90/ auskeilende Kiesschicht, nicht mit Carbonaten
115-115 cm durchsetzt.
- (7) 115-140 cm schluffiger Lehm, polyedrisch bis kompakt, zahlreiche Carbonatkonkretionen.

Bei Profil 7 überwiegen braune bis gelbliche Farben, während die Profile 8 und 9 stärker zu rötlicheren Tönen tendieren. Carbonat- und Gipsanreicherungshorizonte, wie sie bei den Profilen 8 und 9 anzutreffen sind, kommen im Profil 7 nicht vor. Eine Kiesbank tritt in Profil 7 auf. Diese ist im Gegensatz zu den am wadi Arja beobachteten Kiesbänken nur geringmächtig und nicht mit Carbonaten durchsetzt.

Das nachstehende Profil 8 zeichnet sich durch einen geringfügigen Wechsel der Feinbodenzusammensetzung in ca. 45 cm u.G. von schluffigem Lehm zu schluffig bis schluffig-tonigem Lehm aus. Besonders bemerkenswert ist die Tendenz zur Prismenbildung in dem feinkörnigen bis kohärenten (2) - Horizont (4/8 - 22 cm).

Profil 8, Koordinaten: 219.530 E, 973.640 N; Höhe NN 1123 m.

- (1) 0-4/8 cm rötlichgelber (7,5 YR 7/6,f.) schwach kiesiger feinsandiger bis schluffiger Lehm, grobplattig, zerdrückbar, allmählicher Übergang in
- (2) 4/8- 22 cm gelblichroten (5 YR 5/8,f.) schwach kiesigen schluffigen Lehm, feinkörnig bis kohärent, Tendenz zu grobprismatischen Aggregaten, sehr locker, vereinzelte Carbonatkonkretionen und Salzkristalle.
- (3) 22- 32 cm gelblichroter (5 YR 5/8,f.) schluffiger Lehm, feinsubpolyedrisch bis feinpolyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (4) 32- 46 cm intensiv brauner (7,5 YR 5/6,f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinsubpolyedrisch bis feinpolyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (5) 46- 88 cm gelblichroter (5 YR 5/6,f.) schwach kiesiger schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen und Gipskristalle.
- (6) 88-150 cm rötlichgelber (5 YR 7/8,f.) schwach kiesiger schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, polyedrisch bis kohärent, zerdrückbar, Ca - Horizont.

Die hervorstechendsten Merkmale von Profil 9 sind ein ausgeprägter Ca - Horizont sowie Vorkommen von Gipskristallen.

Profil 9, Koordinaten: 218.680 E, 973.040 N; Höhe NN 1129 m.

- (1) 0- 5 cm intensiv brauner bis rötlichgelber (7,5 YR 5/6-6/8,f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, plattig, zerdrückbar.
- (2) 5- 16 cm gelblichroter (5 YR 5/6,f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, feinkörnig bis feinsubpolyedrisch.
- (3) 16- 36 cm gelblichroter (5 YR 5/6,f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, rissig, lockere Lagerung, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (4) 36- 51 cm rötlichgelber (5 YR 6/8,f.) schwach kiesiger schluffiger bis schluffig - toniger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen und Gipskristalle.

- (5) 51- 70 cm hellroter bis rötlichgelber (2,5 YR 6/8-5 YR 7/8,f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Gipskristalle.
- (6) 70-160 cm rötlichgelb und gelblichrot (5 YR 7/6 und 5 YR 5/6,f.) gefleckter schwach kiesiger schluffiger Lehm, polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Gipskristalle, Ca - Horizont.

4.2.2 Infiltrationseigenschaften

Auf ungestörtem Boden unterscheiden sich die Infiltrationsraten der drei Profile 7, 8 und 9 nicht wesentlich (Tab. 9). Sie entsprechen etwa den am Wadi Arja ermittelten Werten. Der (1) - Horizont beeinflusst am Wadi Bureika und am Wadi Arja die Infiltrationsraten in gleicher Weise.

Tab. 9 Infiltrationsraten in mm/h, Profil 7 bis 9
(Gray Desert Soils)

Meßstelle / Profil	7	8	9
1 auf un-	3	3	4
2 bearbei-	2	2	3
3 tetem	2	6	1
3 Boden			
4 auf be-	12	7	9
5 arbei-	16	4	11
6 tetem	11	6	6
6 Boden	18	5	11
7	10	8	10
8	12	9	10
9			

Nach flacher Bodenbearbeitung ist ein Anstieg der Infiltrationsraten zu verzeichnen (Tab. 9). Die Infiltrationsraten nehmen in der Folge Profil 8, 9, 7 zu. Die Streuung der an den parallelen Meßstellen der Profile ermittelten

Infiltrationsraten ist vergleichsweise zu den im Gebiet Wadi Arja gemessenen Werten gering. Darin drückt sich hinsichtlich der Infiltrationseigenschaften eine einheitlichere Bodenbeschaffenheit aus.

Die Untersuchungen in den Gebieten Wadi Arja und Wadi Bureika ergaben, daß auf ungestörten 'Gray Desert Soils' Infiltrationsraten von 1 bis 6 mm/h überwiegen. Nach flacher Bearbeitung treten im wesentlichen Infiltrationsraten zwischen 5 und 20 mm/h auf.

4.3 'Regosols' aus Mergel im Gebiet Wadi el Uweina

4.3.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile

Westlich an das Gebiet Wadi Bureika schließt sich die beckenartig erweiterte Talaue des Wadi Uweina an. Das Tal ist überwiegend von mergeligen Ablagerungen ausgefüllt. Lediglich am Südrand treten in kleineren Flächen Sedimente mit etwas niedrigeren Carbonatgehalten auf. Aus den Mergelablagerungen entstanden schwach entwickelte Böden. Zwei dieser Böden wurden an Hand der Profile 10 und 11 untersucht.

Die Aufgrabung des Profils 10 liegt im nördlichen Teil der Talaue in einem der kleinen Nebenflüsse des Wadi Uweina (Abb. 1). Durch andauernde Sedimentation von Mergel kam es in den oberen Profilschichten nicht zu einer ausgeprägten Bodenbildung. In etwa 40 cm u.G. tritt ein carbonatärmerer, dunkler gefärbter Horizont auf, der als fossiler Boden gedeutet wird. Profil 11 liegt inmitten der Talaue, aber weitab vom heutigen Wadibett. Das Profil zeichnet sich durch eine deutlich wahrnehmbare Verwitterungszone aus, die jedoch nur gering mächtig ist.

Die Bodenoberfläche beider Profile ist eben. Sie neigt sich mit einem Gefälle von 1 ‰ bei Profil 10 nach SE und bei

Profil 11 nach N. Profil 11 ist mit vereinzelt Flintsteinen bedeckt, bei Profil 10 fehlt der Flintsteinbelag vollständig. Der Profilaufbau ist aus nachstehender Beschreibung zu ersehen (Abb. 17 u. 18).

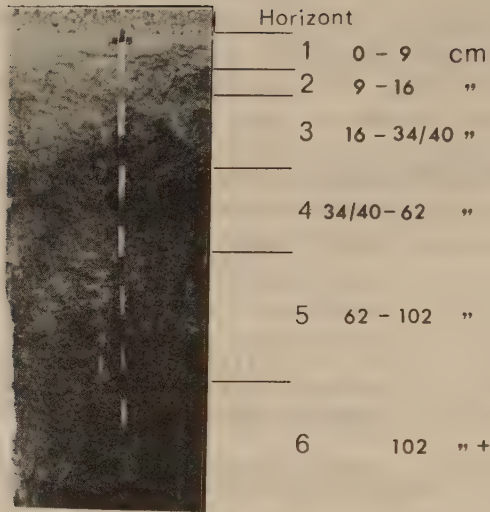
Profil 10, Koordinaten: 213.500 E, 971.430 N; Höhe NN ca. 1165 m. Vegetation: vereinzelt Anabasis articulata - Sträucher.

- (1) 0- 9 cm schwach humoser, blassbrauner (10 YR 7/3, tr.) bzw. hell gelblichbrauner (2,5 Y - 10 YR 6/4, f.) schluffiger Lehm, plattig leicht zerdrückbar, stark durchwurzelt.
- (2) 9- 16 cm schwach humoser, blassbrauner (10 YR 7/3, tr.) bzw. bräunlichgelber (10 YR 6/6, f.) schwach kiesiger (Flintsteine) schluffiger Lehm bis Lehm, subpolyedrisch bis kohärent, leicht zerdrückbar.
- (3) 16-34/
40 cm schwach humoser, hellgrauer bis weißer (10 YR 7-8/2, tr.) bzw. blassbrauner (10 YR 7/4, f.) toniger Lehm, subpolyedrisch bis kohärent, zerdrückbar, schwache Carbonatanreicherung.
- (4) 34/- 62 cm
40 hellgrauer bis hellbraungrauer (10 YR 6-7/2, tr.) bzw. grau brauner (10 YR 5/2, f.) schwach kiesiger (Flintsteine) toniger Lehm bis Lehm, polyedrisch, schwer zerdrückbar, vermutlich fossiler (A) - horizont.
- (5) 62-102 cm Farben werden von oben nach unten heller, und zwar von blaßbraunem zu weißem (10 YR 7/3 zu 2,5 Y 8/2, tr.) bzw. hellgelblichbraunem zu hellgrauem (2,5 Y 6/4 zu 2,5 Y 7/2, f.) tonigem Lehm, Übergang von polyedrischem bis subpolyedrischem zu plattigem Gefüge, nicht zerdrückbar, Ca - Horizont.
- (6) 102-177 cm weiß, blaßgelb, gelb, rötlichgelb (2,5 Y 8/2, 8/4, 7/6. 7/4 und 7/5 YR 7/8, tr.) gefleckter Mergel, plattig, nicht zerdrückbar, vereinzelt Gipskristalle.

Profil 11, Koordinaten: 214.425 E, 970.525 N; Höhe NN ca. 1160 m. Vegetation: vereinzelt Anabasis articulata - Sträucher.

- (1) 0- 4 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 4/6, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 4/5, f.) schwach kiesiger (Flintsteine) toniger Lehm, plattig, vereinzelt krümelig, zerdrückbar.

Profil 10



Profil 11

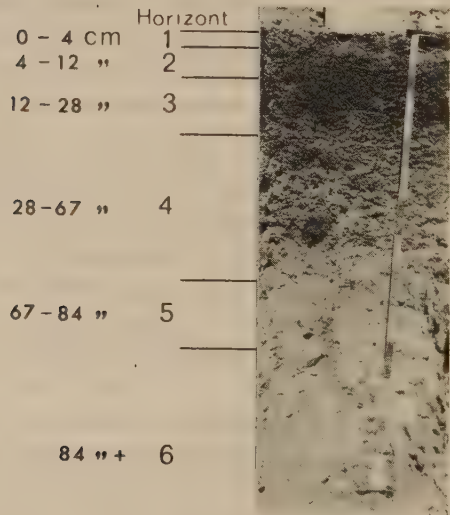


Abb.17 'Regosol'- Profile

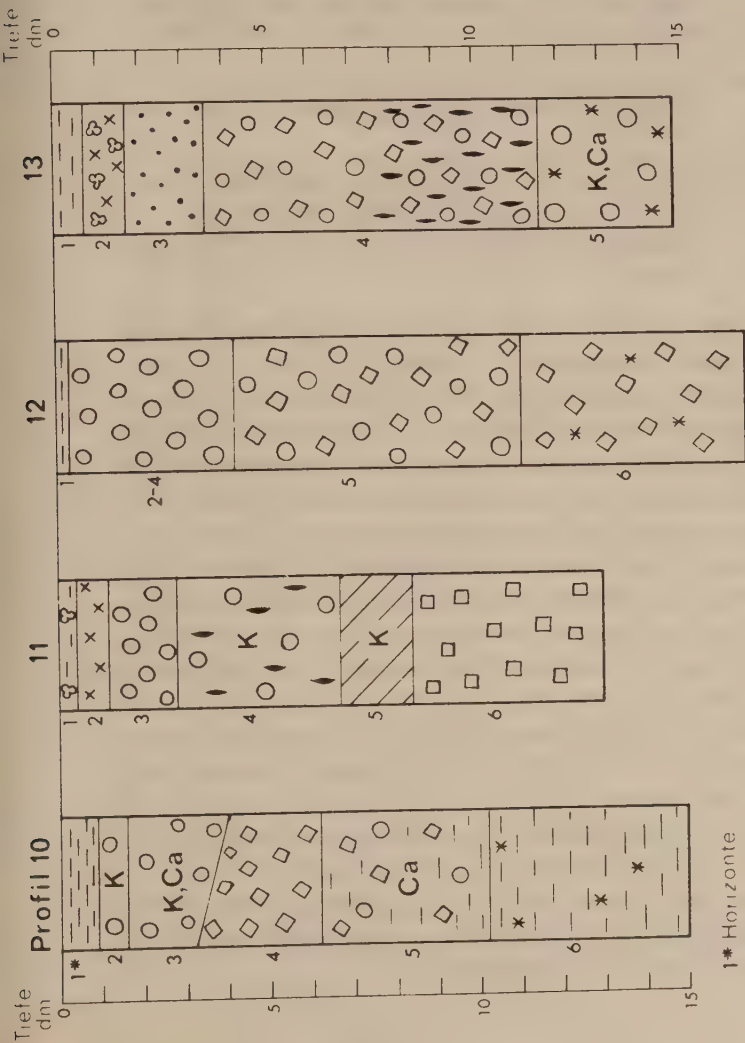


Abb.18 Skizzen (schematisch) der Profile 10 und 11 (Regosols), 12 und 13 (Yellow Soils)

- (2) 4- 12 cm schwach humoser, brauner (7,5 YR 5/4, tr. u. f.) schwach kiesiger (Flintsteine) Lehm, feinkörnig, zahlreiche Wurzeln.
- (3) 12- 28 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger (Flintsteine) toniger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar, allmählicher Übergang in
- (4) 28- 67 cm blassbraunen (10 YR 7/4, tr.) bzw. hellgelblichbraunen (10 YR 6/4, f.) tonigen Lehm bis Ton, subpolyedrisch bis kohärent, nicht zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkongregationen.
- (5) 67- 84 cm blassbrauner (10 YR 8/4, tr. bzw. 10 YR 7/4, f.) toniger Lehm, kohärent, nicht zerdrückbar.
- (6) 84-130 cm weißer (10 YR 8/2, tr.) bzw. blaßgelber (2,5 YR 8/4, f.) Kalkstein, leicht zu zerbrechen und zu zerdrücken, in Spalten hellgelblichbrauner und blassbrauner (10 YR 6/4 u. 10 YR 7/3, tr. u. f.) toniger Lehm.

In Tab. 10 sind die Ergebnisse der chemischen Untersuchung aufgeführt. Höhere Humusgehalte kommen im Profil 11 in den oberen 10 cm vor, während sich bei Profil 10 die Humusanreicherung bis in den fossilen (A) - Horizont (40 - 62 cm) fortsetzt. Der pH - Wert der 'Regosols' schwankt zwischen 7,6 und 8. In beiden Profilen haben sich größere Salz-mengen angereichert. Der Salzgehalt steigt bei Profil 11 mit zunehmender Tiefe stark an. Bei Profil 10 bleibt er annähernd konstant. Wesentlichster Bestandteil der Salze beider Profile ist das Natriumchlorid, das insbesondere bei Profil 11 stark dominiert. Nach KOVDA (1961) entspricht diese Versalzung der von 'trockenen relikten Chlorid-solontschaken'. Der Carbonatgehalt ist bei Profil 11 im obersten Horizont mit ca. 30 % CaCO_3 vergleichsweise zu den übrigen Horizonten niedrig, er steigt weiter unten stark an und erreicht in größerer Tiefe 80 % CaCO_3 . Bei Profil 10 verteilen sich die Carbonate gleichmäßiger über die einzelnen Horizonte. Die niedrigsten Carbonatmengen weist der oben erwähnte, in 40 - 62 cm u.G. anzutreffende, vermutlich fossile (A) - Horizont auf.

Tab. 10 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 10 u. 11 (Regosols)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃ - gehalt	pH	EC mmhos/cm	Sätti- gung %	Zusammensetzung des Sättigungsextraktes									
cm	%	%	Paste			Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄		
Profil 10															
						mval / 100 g Boden									
0- 9	1,98	62,2	7,6	21,5	29,0	2,1	0,9	4,2	0,031	0,0	0,04	6,8	0,14		
9- 16	1,59	61,9	7,8	20,2	31,5	2,1	1,2	3,6	0,008	0,0	0,06	6,6	0,28		
16- 40	1,43	64,6	7,7	26,1	37,6	3,2	2,7	5,2	0,003	0,0	0,10	10,7	0,09		
40- 62	0,69	53,7	7,8	28,8	38,1	2,6	3,4	6,6	0,004	0,0	0,04	12,0	0,29		
62- 77	-	71,7	7,6	20,8	36,5	1,5	2,3	5,0	0,005	0,0	0,06	8,3	0,36		
77-102	-	74,8	7,9	25,3	39,2	2,1	3,2	6,6	0,007	0,0	0,05	9,8	1,99		
102-132	-	66,1	7,9	28,2	53,3	3,1	5,1	10,0	0,010	0,0	0,04	13,9	3,72		
132-177	-	58,1	7,9	26,3	57,3	3,1	5,6	10,9	0,013	0,0	0,05	14,5	4,65		
Profil 11															
0- 4	1,48	30,8	7,6	59,9	25,2	2,4	1,8	16,2	0,039	0,0	0,03	19,8	0,57		
4- 12	1,29	34,8	7,8	55,1	35,3	2,7	3,1	20,7	0,011	0,0	0,06	25,6	1,02		
12- 28	0,43	44,7	8,0	69,2	47,4	7,2	10,2	30,2	0,011	0,0	0,06	44,8	2,70		
28- 40	0,14	49,6	7,9	65,7	54,2	6,5	11,0	34,0	0,010	0,0	0,05	47,6	3,67		
40- 54	-	53,6	8,0	71,6	61,5	7,2	11,5	41,7	0,009	0,0	0,06	55,7	4,87		
54- 67	-	50,6	8,0	76,8	67,1	7,9	16,7	65,9	0,006	0,0	0,05	81,4	6,00		
67- 84	-	69,7	8,0	101,0	59,0	7,6	17,2	85,8	0,006	0,0	0,06	104,9	5,00		
84- 96	-	82,6	8,1	108,3	44,5	4,6	12,8	81,2	0,003	0,0	0,04	91,6	5,51		
96-109	-	79,9	7,8	125,5	43,9	6,3	17,7	95,5	0,003	0,0	0,04	113,8	3,76		
109-130	-	76,9	7,8	112,4	34,7	4,6	10,2	62,6	0,004	0,0	0,03	74,0	3,23		

4.3.2 Infiltrationseigenschaften

Der unterschiedliche Aufbau der beiden Profile macht sich in den Infiltrationsraten der unbearbeiteten Meßstellen kaum bemerkbar (Tab. 11). Das plattige Gefüge der (1) - Horizonte hat eine Angleichung der Infiltrationsraten beider Profile zur Folge, wie sie auch schon bei den 'Gray Desert Soils' beobachtet wurde.

Tab. 11 Infiltrationsraten in mm/h, Profil 10 u. 11
(Regosols)

Meßstelle /	Profil	10	11
1 auf un-		9	8
2 bearbei-		5	6
3 tetem			
3 Boden		10	7
4 auf be-		14	<u>48</u>
5 arbei-		16	35
6 tetem		<u>18</u>	27
6 Boden			
7		20	22
8		12	10
9		21	11

Die Infiltrationsraten liegen über den bei den 'Gray Desert Soils' ermittelten Werten.

Nach der Zerstörung des (1) - Horizontes durch Umgraben steigen bei beiden Profilen die Infiltrationsraten stark an. Nach dieser Maßnahme wurden zwischen den Meßstellen von Profil 11 die größte Streuung der Infiltrationsraten aller untersuchten Profile beobachtet. Bei Profil 10 traten keine extremen Unterschiede zwischen den Infiltrationsraten der Meßstellen auf.

Bei zwei Meßstellen von Profil 11 wurde eine unterschiedlich tiefe Verwitterung des Mergels beobachtet, auf die

vermutlich die starke Streuung der Infiltrationsraten zurückzuführen ist. Die höchsten Infiltrationsraten treten bei mächtigeren Bodenbildungen auf. Das beschriebene Profil repräsentiert eine solche Meßstelle mit hohen Infiltrationsraten. Bei Profil 10 wirkt sich die Einheitlichkeit des sedimentierten Materials verbunden mit einem wenig differenzierten Verwitterungsgrad in einer geringen Streuung der Infiltrationsraten aus.

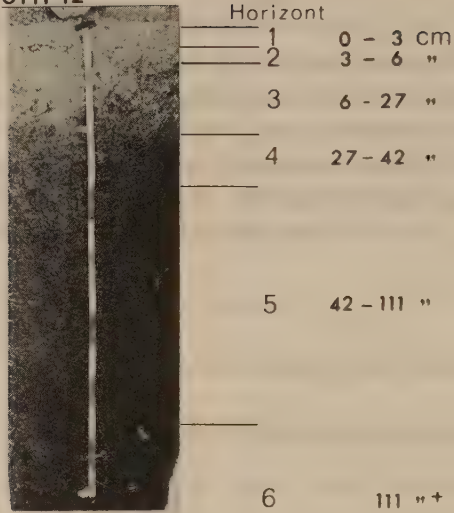
4.4 'Yellow Soils' im Gebiet Wadi el Uweina

4.4.1 Lage und Beschreibung der Bodenprofile

Neben den Böden aus Mergel sind im Gebiet Wadi el Uweina kleinere Flächen mit 'Yellow Soils' vertreten. Sie entstanden am Südrand der Talaue des Wadi el Uweina aus carbonatreichen kolluvialen oder fluviatilen Sedimenten unter dem Einfluß der zum Wüstengebiet vergleichsweise höheren Niederschläge des Plateaus. Diese Böden wurden im Gebiet Wadi el Uweina an Hand der Profile 12 und 13 eingehender beschrieben. Beide Profile sind vermutlich durch kolluviale Sedimente überlagert worden. Sie liegen in fast ebenem Gelände mit einer Hangneigung von 1 - 2 % nach N. An der Bodenoberfläche von Profil 12 treten vereinzelt faustgroße hellgraue Flintsteine auf. Bei Profil 13 ist der Steinbelag aus hellgrauen Flintsteinen wesentlich dichter, so daß die Hälfte der Bodenoberfläche bedeckt ist. Vereinzelte *Anabasis articulata* - Sträucher stellen den Hauptbestandteil der spärlichen Vegetation.

Die beiden im Gebiet Wadi el Uweina untersuchten 'Yellow Soil' - Profile weisen den nachfolgend beschriebenen Aufbau auf (Abb. 18, S. 77 u. Abb. 19).

Profil 12



Profil 13

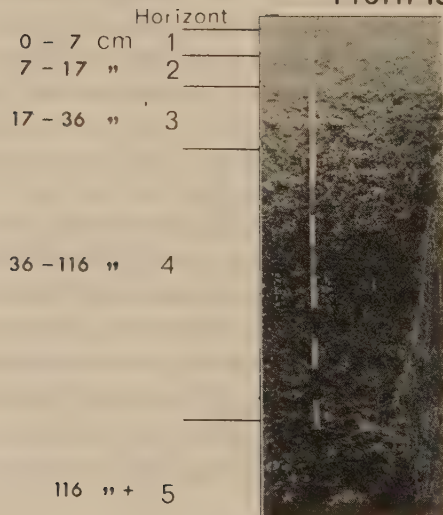


Abb. 19 'Yellow Soil' - Profile

Profil 12, Koordinaten: 214.490 E, 969.695 N; Höhe NN
ca. 1175 m.

- (1) 0- 3 cm schwach humoser, blaßbrauner (10 YR 7/4, tr.) bzw. hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, grobplattig, leicht zerdrückbar.
- (2) 3- 6 cm humoser, blaßbrauner (10 YR 7/4, tr.) bzw. hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, f.) schwach kiesiger Lehm, subpolyedrisch, locker, leicht zerdrückbar, zahlreiche Wurzeln.
- (3) 6- 27 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar, stark durchwurzelt.
- (4) 27- 42 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. brauner (10 YR 5/3, f.) Lehm bis toniger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar.
- (5) 42-111 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. braun bis gelblichbrauner (10 YR 5/3-4, f.) toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, nicht zerdrückbar.
- (6) 111-165 cm blaßbrauner bis gelblichbrauner (10 YR 5/4-6/3, tr.) bzw. dunkelgelbbrauner (10 YR 4/4, f.) toniger Lehm bis Ton, polyedrisch, nicht zerdrückbar, vereinzelte Gipskristalle.

Die chemischen Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 12 niedergelegt.

Dieses Profil ist gekennzeichnet durch pH - Werte von 8,4 und geringe Salzgehalte im Oberboden. Darunter treten höhere Salzgehalte und pH - Werte um 7,9 auf. Die Carbonatverteilung zeigt ein Maximum in den oberen und in den tieferen Horizonten und somit eine Anreicherung, wie sie schon bei den 'Gray Desert Soils' nachgewiesen werden konnte.

Profil 13, Koordinaten: 215.475 E, 970.135 N; Höhe NN
ca. 1160 m.

- (1) 0- 7 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger schluffig - toniger Lehm, plattig, leicht zerdrückbar.

Tab. 12 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 12 (Yellow Soil)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃ - gehalt	pH	EC	Sätti- gung	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
cm	%	%		mmhos/cm	%								
Profil 12													
0-3	1,34	48,8	8,3	1,6	25,2	0,1	0,1	0,3	0,049	0,0	0,13	0,2	0,04
3-6	2,09	42,7	8,4	1,9	27,2	0,0	0,0	0,4	0,046	0,0	0,14	0,2	0,08
6-11	1,71	43,1	8,4	2,4	30,1	0,1	0,1	0,5	0,052	0,0	0,17	0,5	0,07
11-27	1,90	37,6	7,9	7,7	36,8	0,4	0,7	1,5	0,045	0,0	0,11	2,6	0,12
27-42	1,21	33,5	7,8	15,5	40,8	1,5	2,2	3,2	0,020	0,0	0,16	6,3	0,65
42-63	0,53	30,8	7,8	16,4	53,5	2,2	3,5	4,3	0,013	0,0	0,10	8,2	1,68
63-88	-	29,8	7,7	17,4	49,4	1,9	3,7	4,3	0,012	0,0	0,09	8,1	1,99
88-97	-	32,7	7,9	17,4	51,1	2,5	4,1	5,0	0,019	0,0	0,09	7,5	3,78
97-111	-	33,2	7,9	11,6	55,7	1,2	2,5	3,8	0,012	0,0	0,08	5,2	2,45
111-153	-	38,4	7,9	10,5	60,4	1,3	2,4	4,1	0,010	0,0	0,12	4,8	3,26
153-165	-	49,7	7,9	11,1	61,1	0,9	2,3	4,4	0,007	0,0	0,11	6,0	1,76

- (2) 7- 17 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger schluffig - toniger Lehm, feinkörnig bis krümelig, locker, leicht zerdrückbar.
- (3) 17- 36 cm Kiesschicht, 80 % Flintkies, 20 % sandiger Lehm.
- (4) 36-116 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, nicht zerdrückbar, im unteren Horizontabschnitt zahlreiche Carbonatkonkretionen.
- (5) 116-148 cm blaßbrauner (10 YR 7/3, tr.) bzw. hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, f.) toniger Lehm, kohärent bis subpolyedrisch, Aggregate etwas horizontal gerichtet, zerdrückbar, zahlreiche Gipskristalle, Ca - Horizont.

4.4.2 Infiltrationseigenschaften

Bei ungestörter Bodenoberfläche weisen beide Profile zwischen parallelen Meßstellen stark wechselnde Infiltrationsraten auf (Tab. 13). Die Streuung deutet auf eine unterschiedliche Beschaffenheit des plattigen Gefüges im (1) - Horizont hin. Dieser Horizont war bei Profil 13 mächtiger ausgebildet als bei Profil 12. Flache Bearbeitung steigerte die Infiltrationsrate. Die direkt am Profil 12 angelegte Meßstelle (in Tab. 13 unterstrichen) repräsentiert einen 'Yellow Soil' mit hoher Infiltrationsrate (30 mm/h). Dagegen war am Profil 13 die Infiltrationsrate auffallend niedrig (14 mm/h). Dieses Profil unterscheidet sich von Profil 12 vor allem durch das Auftreten einer Kiesschicht in 17 - 35 cm Tiefe, die vermutlich die Infiltrationsrate entscheidend beeinflusste, da Kiesschichten die Wasserbewegung im ungesättigten Boden hemmen können (MILLER & GARDNER 1962).

Tab. 13, Infiltrationsraten in mm/h, Profil 12 u. 13
(Yellow Soils)

Meßstelle /	Profil	12	13
1 auf un-		18	27
2 bearbei-		14	10
3 tetem			
3 Boden		5	5
4 auf be-		<u>30</u>	21
5 arbei-		26	<u>14</u>
6 tetem			
6 Boden		26	22
7		33	36
8		27	33
9		24	22

4.5 'Yellow Soils' im Gebiet Tell Abara

4.5.1 Lage und Beschreibung der Profile

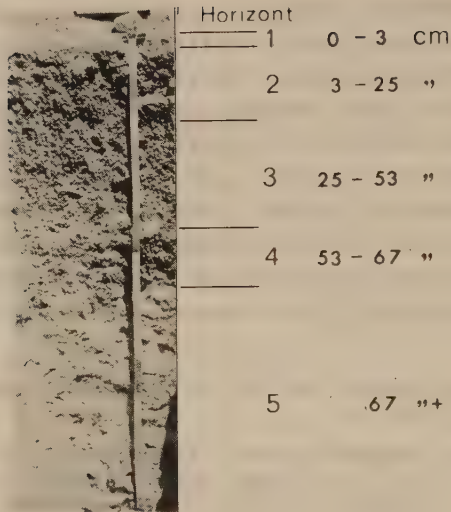
Südöstlich vom Tell Abara befindet sich am Oberlauf des Wadi Qā' eine kleine Ebene. In dieser Ebene wie auch auf den angrenzenden Hügelketten konnten 'Yellow Soils' beobachtet werden. Sie wurden an Hand von drei Profilen eingehender untersucht. Profil 14 liegt in der Ebene, etwa 500 m westlich der Straße Ma'an - Uduh. Profil 15 wurde auf der die Ebene im S begrenzenden Hügelkette am oberen Südhang angelegt. Am östlichen Hangfuß des Tell Abara befindet sich auf leicht abschüssigem Gelände das Profil 16. Das Gelände ist mit etwa 2 % Gefälle bei Profil 14 nach NE, bei Profil 15 und 16 mit je etwa 5 % nach SW bzw. E geneigt. Die Bodenoberfläche von Profil 14 ist zu 5 %, von Profil 15 zu 20 % mit kleineren hellgrauen Flintsteinen übersät. An Pflanzen kommen im ganzen Gebiet

überwiegend *Anabasis articulata*- und *Artemisia herba alba* - Sträucher vor. Profil 16 liegt inmitten eines Gebietes mit Trockenfeldbau. Die beiden übrigen Profile befinden sich auf einst ebenfalls ackerbaulich genutzten Flächen, Kanate und eine alte Mühle in Udruh weisen auf eine intensivere und ausgedehntere Landnutzung hin. Das Bodenausgangsmaterial bilden im Gebiet Tell Abara kolluviale und fluviatile carbonatreiche Sedimente. Die daraus entstandenen 'Yellow Soils' - Profile zeichnen sich durch nachstehend beschriebenen Aufbau aus (Abb. 20 u. 21).

Profil 14, Koordinaten: 208.100 E, 969.100 N; Höhe NN ca. 1260 m.

- (1) 0- 3 cm schwach humoser, blaßbrauner (10 YR 6-7/3, tr.) bzw. braun bis gelblichbrauner (10 YR 5/3-4. f.) schwach kiesiger Lehm bis toniger Lehm, plattig bis subpolyedrisch, locker, leicht zerdrückbar, stark durchwurzelt.
- (2) 3- 25 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar, stark durchwurzelt.
- (3) 25- 53 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger toniger Lehm, subpolyedrisch, zerdrückbar.
- (4) 53- 67 cm blaßbrauner (10 YR 7/3, tr.) bzw. hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, f.) schwach kiesiger toniger Lehm, subpolyedrisch, nicht zerdrückbar, von oben nach unten Zunahme der Karbonatkonkretionen, die stark mit Boden durchsetzt sind.
- (5) 67-146 cm weißer bis blaßbrauner (10 YR 8/2-3, tr.) bzw. hellgrauer bis blaßbrauner (10 YR 7/2-4, f.) toniger Lehm, kohärent bis subpolyedrisch, nicht zerdrückbar, Ca - Horizont.
- (6) 146-156 cm blaßbrauner (10 YR 7/3, tr. u. f.) stark kiesiger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, zerdrückbar.

Profil 14



Profil 15

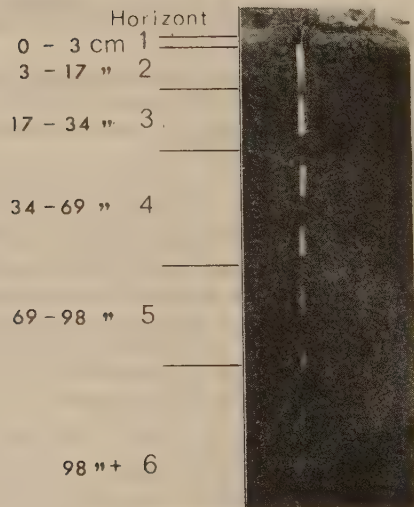


Abb. 20 'Yellow Soil'- Profile

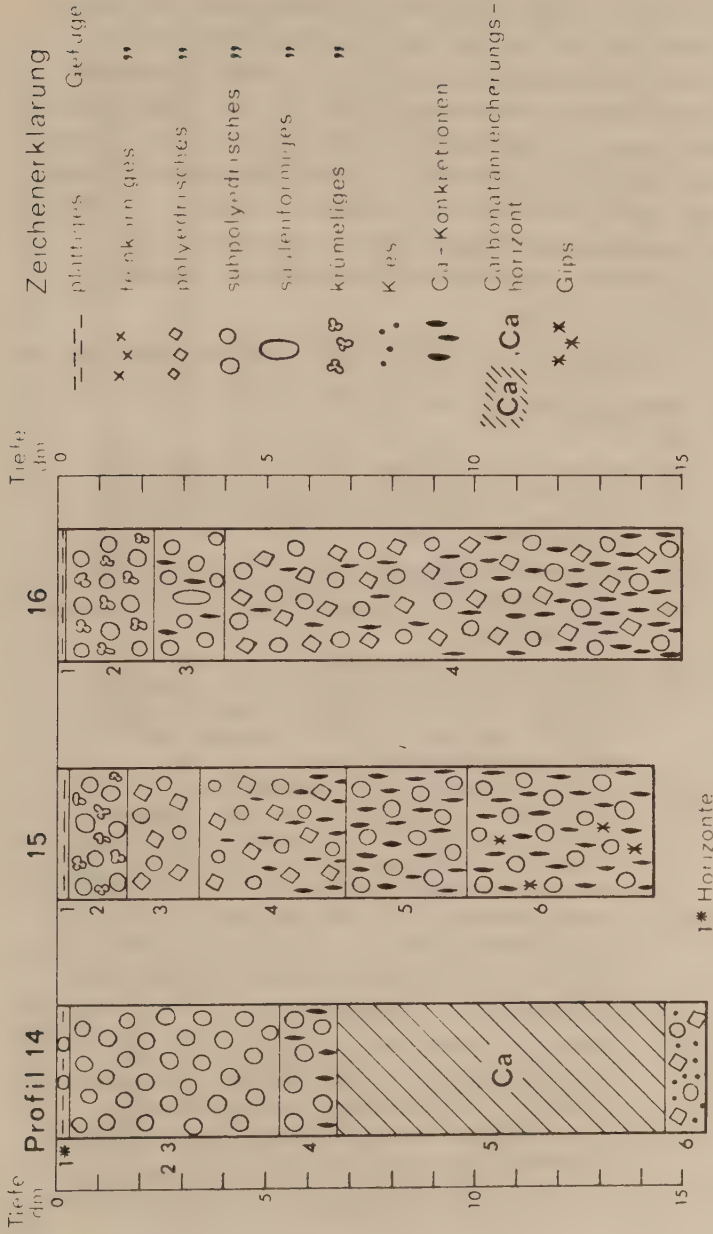


Abb. 21 Skizzen (schematisch) der Profile 14-16 (Yellow Soils)

Bei Profil 14 tritt im Unterboden ein mächtiger Ca - Horizont auf, der bei den anderen untersuchten 'Yellow Soil' - Profilen nicht beobachtet werden konnte. Außer den Carbonatgehalten steigen im Unterboden auch die pH - Werte und Salzgehalte stark an. Die Salze setzen sich im sehr gering salzhaltigen Oberboden aus etwa gleichen Mengen Chloriden, Sulfaten und Hydrogencarbonaten zusammen, während im Unterboden die Chloride dominieren. Von den Kationen ist im Ober- und Unterboden das Natrium am stärksten vertreten (Tab. 14).

Von Profil 15 liegen keine chemischen Analysenergebnisse vor.

Profil 15, Koordinaten: 208.000 E, 976.900 N; Höhe NN ca. 1270 m.

- (1) 0- 3 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger schluffiger Lehm, grobplattig, leicht zerdrückbar.
- (2) 3- 17 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger Lehm, subpolyedrisch bis krümelig, zerdrückbar.
- (3) 17- 34 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger Lehm bis toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, schwer zerreibbar, stark durchwurzelt.
- (4) 34- 69 cm hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, schwer zerdrückbar, von oben nach unten Zunahme der Carbonatkonkretionen.
- (5) 69- 98 cm blaßbrauner (10 YR 7/3, tr. bzw. 10 YR 6/3, f.) schwach kiesiger toniger Lehm bis Ton, subpolyedrisch, schwer zerdrückbar, zahlreiche Carbonatkonkretionen, schwach ausgebildeter Ca - Horizont.
- (6) 98-143 cm rosa bis blaßbrauner (7,5 YR 7/4 bis 10 YR 7/3, tr.) bzw. gelblichbrauner bis hellgelblichbrauner (10 YR 5-6/4, f.) schwach kiesiger toniger Lehm, subpolyedrisch, nicht zerdrückbar, fleckenhaft stark mit Carbonatkonkretionen durchsetzter Boden, weiß (10 YR 8/1, tr.) bzw. stark blaßbraun (10 YR 8/3, f.), zahlreiche Gipskristalle.

Tab. 14 Ergebnisse der chemischen Bodenuntersuchung, Profil 14 u. 16 (Yellow Soils)

Tiefe	Humus- gehalt	CaCO ₃ - gehalt	pH Paste	EC mmhos/cm	Sätti- gung %	Zusammensetzung des Sättigungsextraktes							Boden				SO ₄
cm	%	%				Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl					
Profil 14																	
0-3	1,74	26,6	8,0	1,0	27,7	0,1	0,1	0,1	0,018	0,0	0,13	0,1	0,09			0,05	
3-11	1,48	29,0	7,9	0,8	30,3	0,1	0,1	0,1	0,003	0,0	0,10	0,1	0,12			0,03	
11-21	1,28	29,0	7,9	0,6	32,6	0,0	0,0	0,1	0,001	0,0	0,12	0,1	0,05			0,02	
21-25	1,19	33,5	8,1	0,5	36,6	0,0	0,0	0,2	0,001	0,0	0,15	0,0	0,06			0,12	
25-53	0,62	38,5	8,3	2,8	48,0	0,1	0,1	1,0	0,002	0,0	0,13	1,2	0,14			0,12	
53-67	-	40,4	8,3	9,5	50,6	0,4	1,0	4,3	0,005	0,0	0,10	3,8	1,75			1,71	
67-83	-	48,2	8,3	20,2	46,2	1,7	3,4	8,1	0,009	0,0	0,10	7,8	5,11			5,16	
83-113	-	55,8	8,8	42,2	42,3	2,1	7,9	15,6	0,005	0,0	0,06	19,1	7,12			8,21	
113-129	-	53,1	8,7	32,5	62,5	2,5	8,0	16,1	0,005	0,0	0,04	19,3	8,21			9,30	
129-146	-	54,7	8,8	30,0	78,0	3,3	8,8	18,2	0,007	0,0	0,05	21,7	9,30			5,16	
146-156	-	58,3	8,5	23,0	49,5	1,8	3,8	9,0	0,004	0,0	0,01	9,4	5,16				
Profil 16																	
0-2	2,14	26,6	8,0	0,6	25,7	0,1	0,0	0,0	0,009	0,0	0,08	0,0	0,05				
2-10	1,90	25,7	8,1	0,6	25,6	0,1	0,0	0,0	0,006	0,0	0,09	0,0	0,03				
10-23	1,26	25,7	8,1	0,3	33,3	0,1	0,0	0,0	0,003	0,0	0,12	0,0	0,02				
23-40	1,29	27,3	8,2	0,4	37,8	0,2	0,0	0,1	0,002	0,0	0,14	0,0	0,12				
40-90	-	33,4	8,3	6,5	50,1	0,4	0,6	2,1	0,004	0,0	0,10	3,7	0,12				
90-118	-	34,3	8,3	18,4	47,8	1,4	3,0	5,6	0,007	0,0	0,09	13,1	0,73				
118-136	-	43,3	7,6	20,9	58,0	2,1	4,9	8,0	0,006	0,0	0,08	13,1	1,71				
136-150	-	41,1	7,9	14,8	44,2	2,5	5,0	6,7	0,005	0,0	0,07	10,5	3,06				

Das nachstehende Profil 16 weist wie die übrigen untersuchten 'Yellow Soil' - Profile etwa am Übergang zum Unterboden einen Wechsel der Feinbodenzusammensetzung auf. Dieser Wechsel ist bei Profil 16 durch den hohen Feinsandgehalt im Oberboden besonders stark ausgeprägt. Der pH - Wert beträgt für das gesamte Profil annähernd 8. Die Salze liegen im Oberboden in geringen Konzentrationen vor. Im Unterboden ist der Salzgehalt hoch. Die Salze setzen sich bis in 40 cm u.G. überwiegend aus Hydrogencarbonaten, darunter aus Chloriden zusammen. Als dominierendes Kation tritt im Gegensatz zu den übrigen untersuchten 'Yellow Soil' - Profilen im Oberboden Calcium auf. Mit ansteigender Salzkonzentration tritt das Natriumchlorid wieder in den Vordergrund.

Profil 16, Koordinaten: 206.800 E, 269.200 N; Höhe NN ca. 1300 m.

- (1) 0- 2 cm humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) feinsandiger Lehm, schwach plattig ausgeprägt, leicht zerdrückbar, locker.
- (2) 2- 23 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) schwach kiesiger feinsandiger Lehm, krümelig bis subpolyedrisch, zerdrückbar, zahlreiche Wurzeln.
- (3) 23- 40 cm schwach humoser, hellgelblichbrauner (10 YR 6/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) toniger Lehm, subpolyedrisch bis etwas säulenförmig ausgeprägt, zerdrückbar, vereinzelte Carbonatkonkretionen.
- (4) 40-150 cm hellgelblichbrauner (10 YR 5/4, tr.) bzw. gelblichbrauner (10 YR 5/4, f.) toniger Lehm, subpolyedrisch bis polyedrisch, schwer zerdrückbar, der Gehalt an Carbonatkonkretionen steigt mit zunehmender Bodentiefe.

4.5.2 Infiltrationseigenschaften

Die schon im Gebiet Wadi el Uweina für unbearbeitete Meßstellen der 'Yellow Soil' - Profile als charakteristisch

ermittelte starke Streuung der Infiltrationsraten wurde auch im Gebiet Tell Abara beobachtet (Tab. 14). Die Werte von Profil 15 liegen alle an der unteren Grenze der an 'Yellow Soils' gemessenen Infiltrationsraten. Die Meßstellen der beiden übrigen Profile weisen dagegen entsprechend der oben angeführten großen Streubreite unterschiedliche Werte auf, wobei die Infiltrationsraten der an Profil 14 untersuchten Meßstellen besonders hoch sind.

Tab. 14 Infiltrationsraten in mm/h, Profil 14, 15 u. 16 (Yellow Soils)

Meßstelle /	Profil	14	15	16
1 auf un-		44	5	14
2 bearbei-		13	5	22
3 tetem		20	7	6
4 auf be-		22	20	11
5 arbei-		<u>19</u>	22	<u>9</u>
6 tetem		24	<u>24</u>	15
7 Boden		10	18	17
8		20	22	10
9		18	16	-

Die starke Streuung der Infiltrationsraten ist vermutlich auf die Übergangsstadien von krümeligem oder subpolyedrischem zu plattigem Gefüge im (1) - Horizont zurückzuführen.

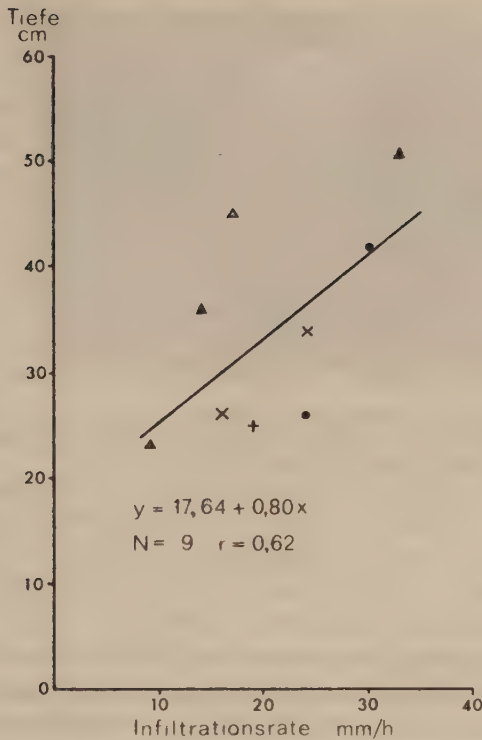
Flache Bodenbearbeitung von Profil 15 steigerte die Infiltrationsrate erheblich, während die schon im unbearbeitetem Zustand höheren Infiltrationsraten der Profile 14 und 16 nicht bzw. nur schwach anstiegen.

5. Beziehung der Infiltrationsraten zu Einzelmerkmalen

Bodenart, Gefüge und Carbonatverteilung beeinflussen die Infiltrationsrate. Es sind Merkmale, die bei ariden Böden verhältnismäßig einfach zu bestimmen sind und daher bei der Abschätzung der Infiltrationsraten herangezogen werden können. Diese Merkmale beeinflussen die Infiltration oder sind von den Infiltrationseigenschaften der Böden abhängig. In dem folgenden Abschnitt wird beschrieben, inwieweit bei flach bearbeiteten Böden aus diesen Merkmalen Angaben über die Infiltrationsraten gemacht werden können.

5.1 Bodenart

Die Ansprache der Bodenart mittels der Fingerprobe ergab bei den 'Gray Desert Soils' keinen Hinweis auf die Infiltrationseigenschaften. Die 'Yellow Soils' wurden hinsichtlich der Bodenart ausführlicher untersucht, indem außer am Profil bei einer weiteren Meßstelle die Bodenart ermittelt wurde. Sie weisen, wie auch die 'Gray Desert Soils' und die 'Regosols' einen Bodenartenwechsel auf, und zwar in 20 bis 50 cm u.G. von einer mittleren Textur (sandigem



Profil/ Meßstelle	Tiefe des Wechsels cm	Wechsel	
		von	bis
• 12/4	42	Lehm - tonig. Lehm	tonig. Lehm
12/9	26	sandigem Lehm	" "
▲ 13/5	36	Lehm	" "
13/8	51	Lehm - tonig. Lehm	" "
+ 14/5	25	Lehm	" "
x 15/6	34	Lehm - tonig. Lehm	" "
15/9	26	" "	" "
Δ 16/5	23	feinsandigem Lehm	" "
16/7	45	Lehm	" "

Abb.22 Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des Bodenartenwechsels (Yellow Soil)

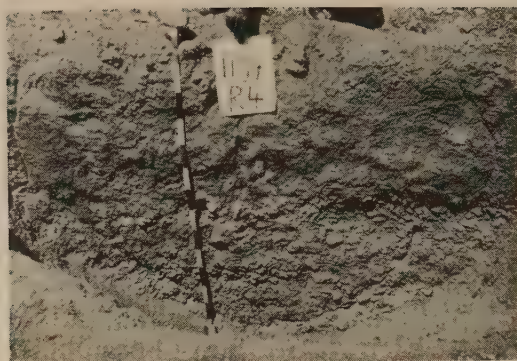


Abb.23 Hemmung der Bodendurchfeuchtung durch
eine auskeilende Kiessschicht

Lehm, schluffigem Lehm oder Lehm) zu mittelfeiner Textur (tonigem Lehm). Zwischen der Tiefenlage dieses Bodenartenwechsels und den Infiltrationsraten der 'Yellow Soils' besteht eine schwache positive Beziehung, wie aus Abbildung 22 hervorgeht. Wegen der geringen Zahl von Parallelen (9) hat diese Beziehung nur eine beschränkte Aussagekraft. Der Grad der Abhängigkeit wird von der im Oberboden vorherrschenden Bodenart beeinflusst. Bei höherem Sandanteil wird die Beeinflussung der Infiltrationsraten durch die Tiefenlage des Bodenartenwechsels geringer (Profil 16).

Ein Beispiel für die Behinderung der Wasserbewegung durch Kiessschichten konnte an Meßstellen von Profil 7 und 13 beobachtet werden. Die Abb. 23 zeigt, wie durch eine auskeilende Kiessschicht die Befeuchtungsfront aufgehalten wird.

5.2 Gefüge

Die 'Gray Desert Soil' - Profile zeichnen sich durch überwiegend feinkörniges Gefüge im (2) - Horizont aus. Die Infiltrationsraten weisen eine merkliche Beziehung zur Ausprägung dieses Gefüges auf. Niedrige Infiltrationsraten kommen bei extrem feinkörnigem Gefüge vor (Profil 3 und 8). Bei höherer Infiltrationsrate sind im (2) - Horizont die Aggregate etwas größer. Teilweise treten auch Übergänge von feinkörnigem zu feinsubpolyedrischem Gefüge auf (Profil 1, 4, 9). Der (2) - Horizont ist außerdem nicht bei jedem Profil mächtig ausgebildet (Profil 1, 4, 6, 9). Es gibt somit im (2) - Horizont mehrere Anzeichen für eine höhere Infiltrationsrate.

Bei den Profilen 3 und 8 wurde neben dem extrem feinkörnigen Gefüge im (2) - Horizont weitere Merkmale beobachtet, die auf eine geringe Infiltrationsrate hinweisen. Unter dem (2) - Horizont von Profil 3 liegt ein Horizont mit subpolyedrischem bis polyedrischem Gefüge; die Aggregate sind lamellenförmig angeordnet und hemmen dadurch die Wasserbewegung. Bei Profil 8 setzt ein flach liegender Ca - Horizont die Infiltrationsrate herab. Bei den übrigen 'Gray Desert Soil' - Profilen ist dies nicht zu erwarten, da das Gefüge im Unterboden polyedrisch bis subpolyedrisch ist und Ca - Horizonte erst in größerer Tiefe auftreten.

Abweichend von den anderen 'Gray Desert Soil' - Profilen tritt bei Profil 5 kein feinkörniges, sondern ein grobsubpolyedrisches Gefüge im (2) - Horizont auf. Die Infiltrationsraten dieses Profiles unterscheiden sich nicht wesentlich von denen der Profile 3 und 8. Dies ist wie bei Profil 8 auf einen flach liegenden Ca - Horizont zurückzuführen..

Ein Gefügeeinfluß besteht bei den 'Yellow Soils' nur zwischen parallelen Meßstellen. Die nachstehend aufgeführten Gefügebeschreibungen von jeweils zwei parallelen Meßstellen der Profile zeigen, daß diejenige Meßstelle

die höheren Infiltrationsraten aufweist, in der das Subpolyedergefüge gegenüber dem Polyedergefüge überwiegt.

Profil 12

Meßstelle 4

Infiltrationsrate 30 mm/h

0- 3 cm plattig
3- 63 cm subpolyedrisch
63-111 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch
111-153 cm polyedrisch

Meßstelle 9

Infiltrationsrate 24 mm/h

0- 8 cm plattig
8- 37 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch
37-141 cm polyedrisch

Profil 13

Meßstelle 5

Infiltrationsrate 14 mm/h

0- 7 cm plattig
7- 36 cm feinkörnig
bis krümelig
36- 98 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch
98-128 cm subpolyedrisch
128-148 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch

Meßstelle 8

Infiltrationsrate 33 mm/h

0- 7 cm plattig
7- 69 cm subpolyedrisch
69-136 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch

Profil 15

Meßstelle 6

Infiltrationsrate 24 mm/h

0- 3 cm plattig
3- 6 cm plattig, teils
krümelig
6- 17 cm subpolyedrisch
17- 34 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch
34-143 cm subpolyedrisch

Meßstelle 9

Infiltrationsrate 16 mm/h

0- 3 cm plattig
3- 14 cm subpolyedrisch
14- 26 cm polyedrisch bis
subpolyedrisch
26- 35 cm polyedrisch
35-142 cm subpolyedrisch

Profil 16

Meßstelle 5

Meßstelle 7

Infiltrationsrate 9 mm/h

Infiltrationsrate 17 mm/h

0- 2 cm plattig
2- 23 cm krümelig bis
subpolyedrisch
23- 40 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch
40- 90 cm subpolyedrisch
90-136 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch

0- 2 cm plattig teils
krümelig
2- 10 cm krümelig
10-133 cm subpolyedrisch
133-150 cm subpolyedrisch
bis polyedrisch

Beim 'Regosol'- Profil 11 ist die höhere Infiltrationsrate an einen mächtigeren Horizont aus locker gelagerten Aggregaten gebunden, der zusammen mit einer tieferen Profilentwicklung auftritt. Bei Profil 10 bestand zwischen Infiltrationsraten und Gefügemerkmalen der Meßstellen keine Beziehung.

5.3 Carbonatgehalt

Durch Verlagerung von Carbonaten kann es im Boden zur Verkleinerung von bestehenden Hohlräumen und damit zur Ausbildung von Staukörpern kommen, die die Infiltration herabsetzen. Daher liegt die Vermutung nahe, daß der für die Böden des Arbeitsgebietes charakteristische hohe Carbonatgehalt in einem Zusammenhang mit den Infiltrationsraten gebracht werden kann. Hierzu wurde die Carbonatverteilung einiger Infiltrationsmeßstellen ermittelt. Die Ergebnisse sind in den Abb. 24 bis 28 wiedergegeben.

Wie die Untersuchungen zeigen, können sich die Carbonatgehalte mit zunehmender Bodentiefe innerhalb weniger Zentimeter ändern. Die zur Carbonatgehaltsuntersuchung herangezogenen Proben stammen jedoch vielfach aus mehreren Dezimeter mächtigen Schichten. Daher geben die Kurven in den Abb. 24 bis 28 nur vergrößert die Carbonatverteilung

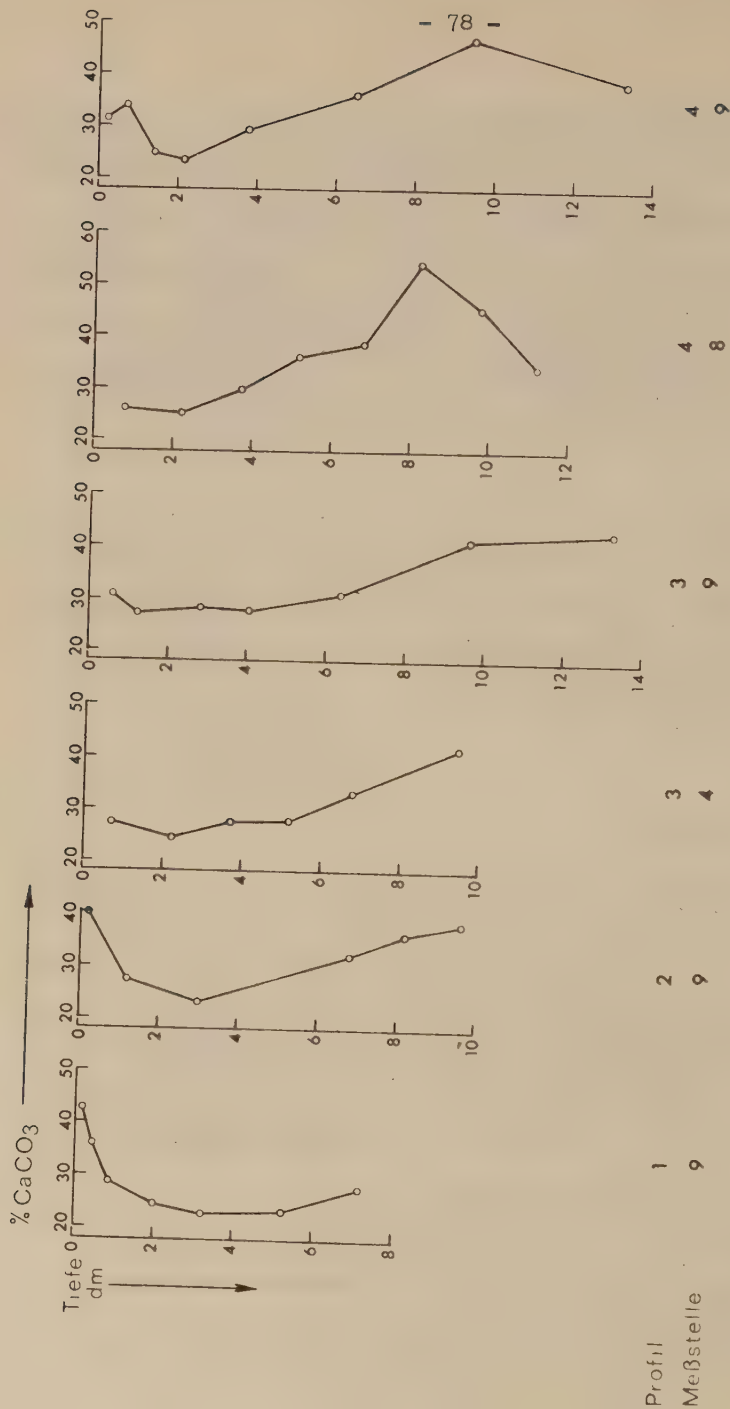


Abb. 24 Die Carbonatverteilung in den Profilen 1-4 (Gray Desert Soils)

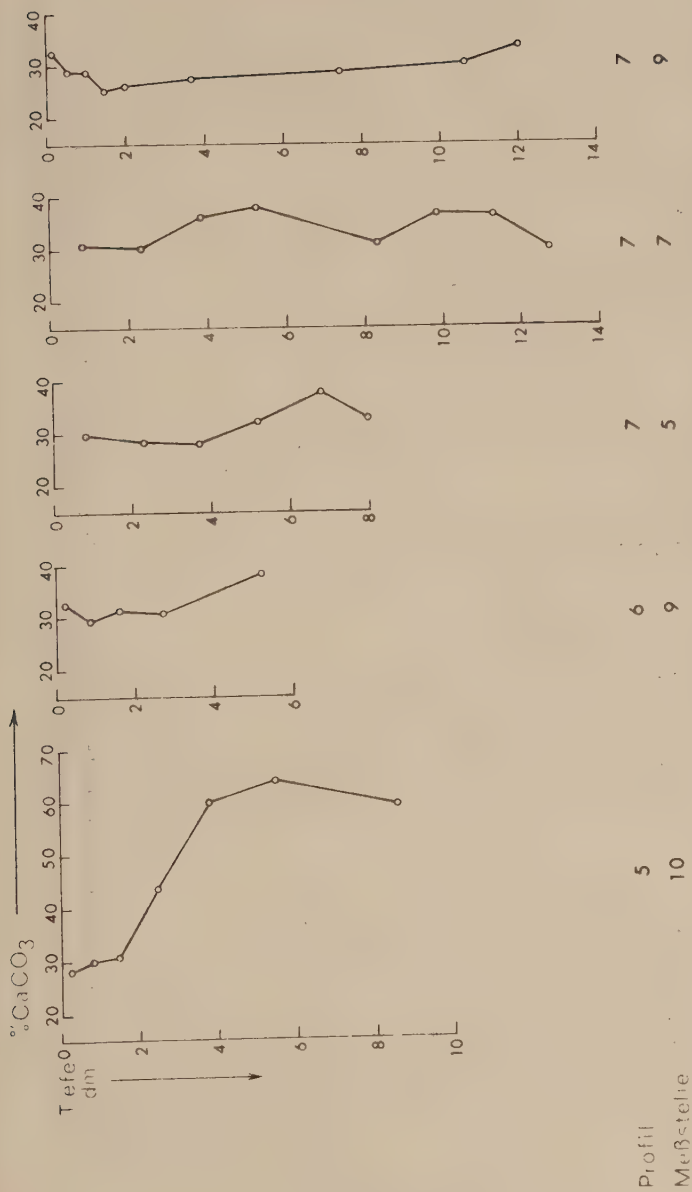


Abb. 25 Die Carbonatverteilung in den Profilen 5-7 (Gray Desert Soils)

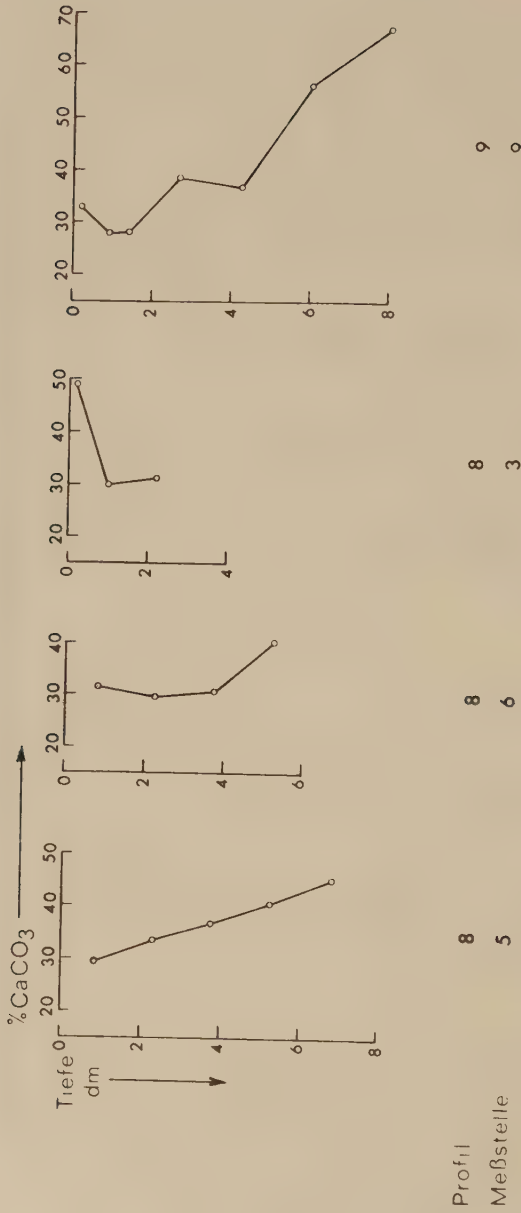


Abb. 26 Die Carbonatverteilung in den Profen 8-9 (Gray Desert Soils)

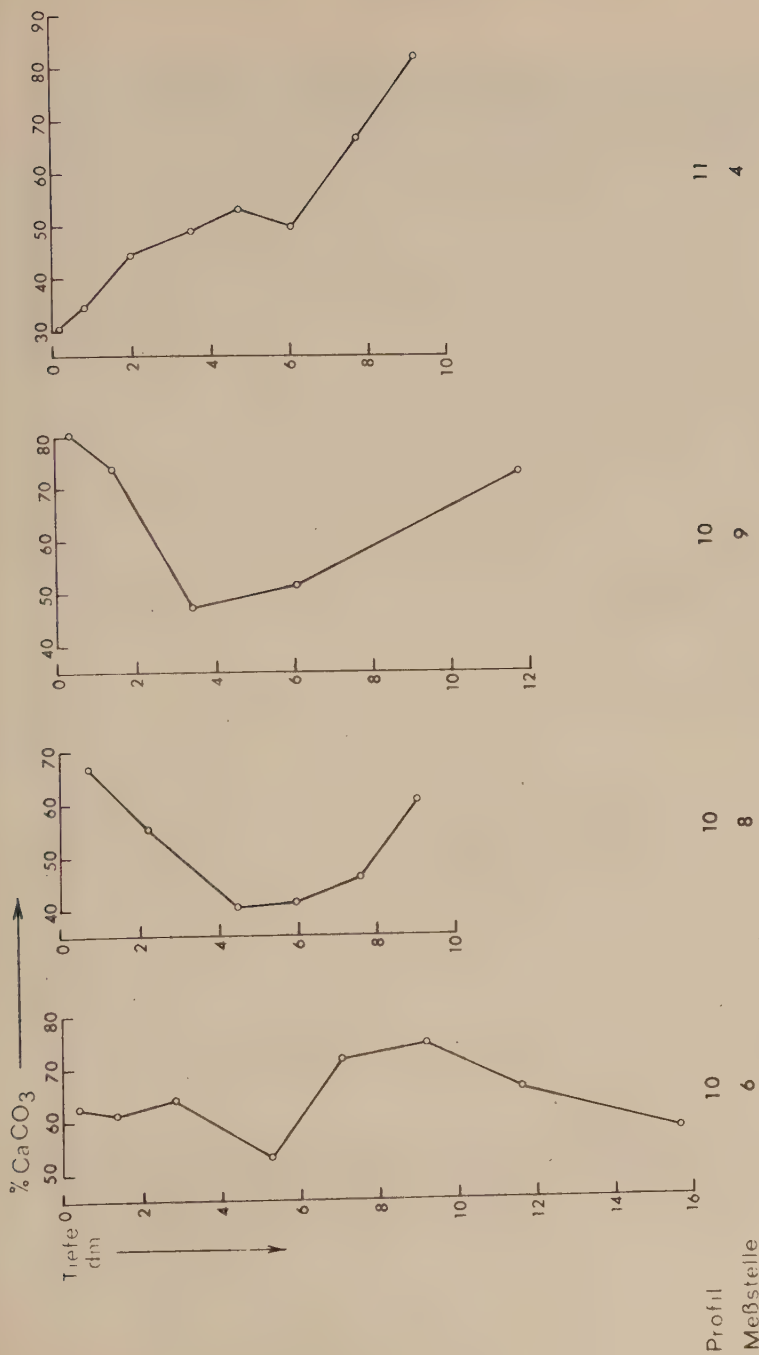


Abb. 27 Die Carbonatverteilung in den Profilen 10 - 11 (Regosols)

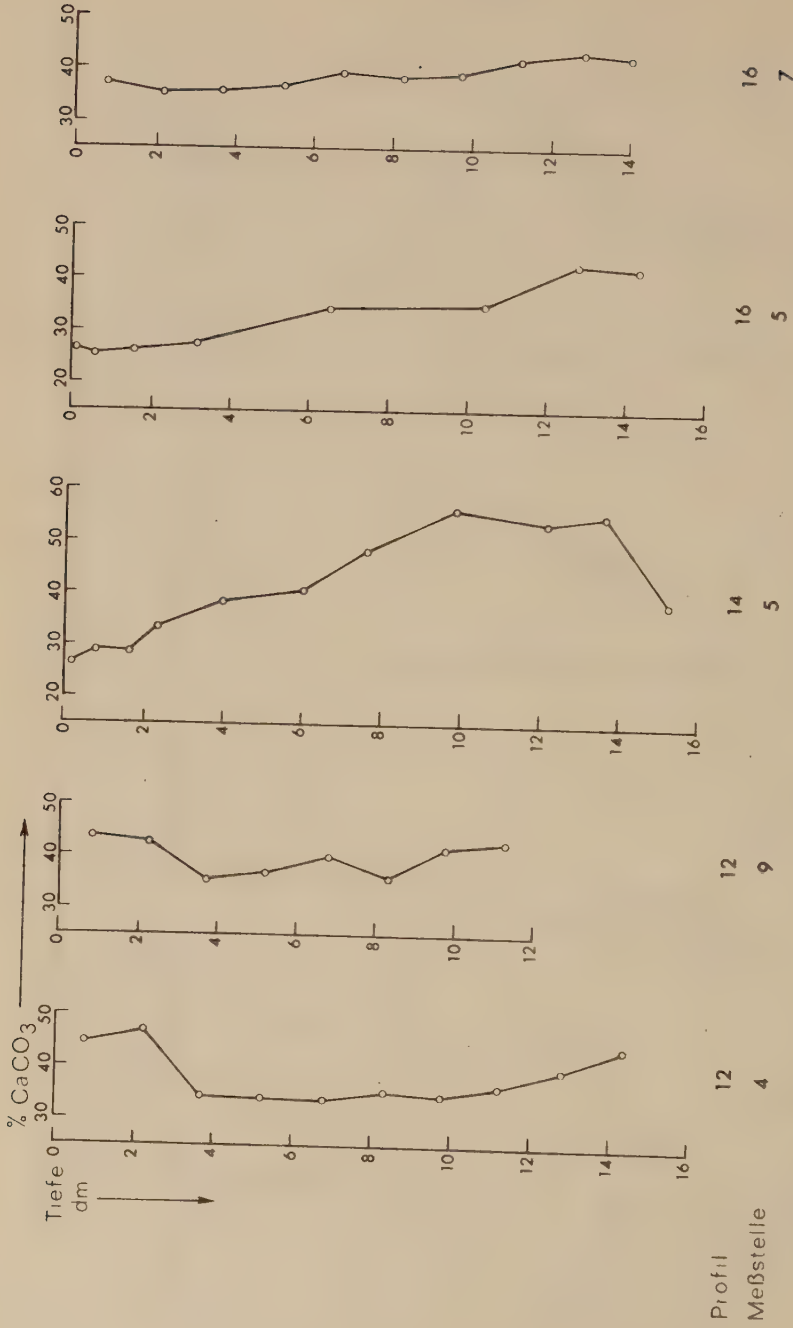


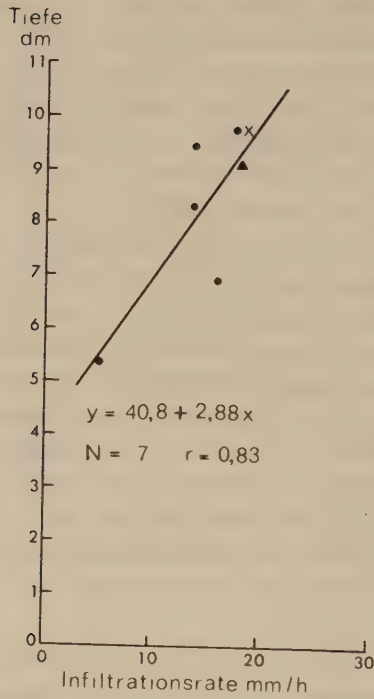
Abb. 28 Die Carbonatverteilung in den Profilen 12-16 (Yellow Soils)

wieder. Wie stark der Kurvenverlauf durch die Probenentnahme beeinflußt werden kann, zeigen die an den Meßstellen von Profil 8 gewonnenen Ergebnisse (Abb. 26). Die aus mächtigeren Horizonten entnommenen Proben der Meßstelle 5 weisen auf eine kontinuierliche Zunahme der Carbonate mit zunehmender Tiefe hin. Wählt man jedoch zur Probenahme einen kleineren Abstand, wie dies bei der Meßstelle 3 geschah, dann zeigt sich, daß an der Bodenoberfläche ein Carbonatgehaltsanstieg bestehen kann.

Fast sämtliche Profile des Arbeitsgebietes weisen folgenden Verlauf der Carbonatkurven auf: einem Anreicherungsmaximum an der Bodenoberfläche folgt ein Abfall, der im mittleren Teil des Profiles in einem Carbonatminimum* endet; mit größerer Tiefe steigt der Carbonatgehalt an und erreicht ein zweites Maximum (Ca - Horizont). Ein abweichender Verlauf der Carbonatkurve wurde bei den 'Gray Desert Soil' - Profilen 5 und 8, Meßstelle 10 bzw. 5, beim 'Regosol' - Profil 11, Meßstelle 4 und beim 'Yellow Soil' - Profil 14, Meßstelle 5, beobachtet. Bei diesen Meßstellen nimmt der Carbonatgehalt zur Tiefe hin gleichmäßig zu, bis er ein Maximum erreicht.

Eine Beziehung zur Höhe der Infiltrationsraten konnte für den unteren Carbonatanreicherungshorizont festgestellt werden. Wie Abb. 29 zeigt, steigen die Infiltrationsraten mit zunehmender Tiefenlage dieser Schicht an. Allerdings konnte dieses Maximum der Carbonatanreicherung nur an wenigen Meßstellen beobachtet werden, da es nicht überall deutlich ausgeprägt war oder in den bis 150 cm Tiefe aufgetragenen Profilen noch nicht angeschnitten wurde. Aus der guten Korrelation ist die Tendenz eindeutig erkennbar.

* Dieser Begriff wird in den folgenden Abschnitten nur dann verwendet, wenn der niedrigste Carbonatgehalt nicht an der Bodenoberfläche, sondern, wie hier beschrieben, in tiefer liegenden Horizonten auftritt.



- 'Gray Desert Soil'- Profil
- x 'Yellow Soil'-Profil
- ▲ 'Regosol'-Profil

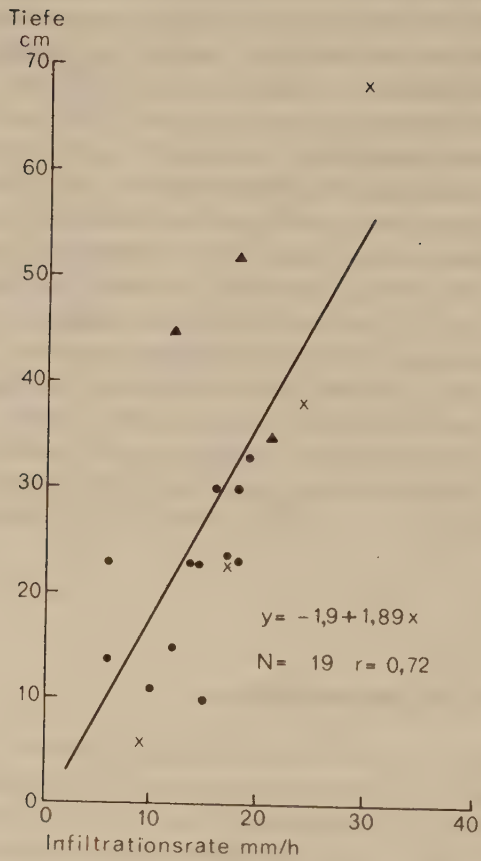
Abb.29 Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des Carbonatanreicherungshorizonts

Die wegen der wenigen Werte (7) mangelnde Aussagekraft sollte jedoch berücksichtigt werden. Eine engere Beziehung zur Infiltrationsrate bearbeiteter Meßstellen besteht auch für das Carbonatminimum. Die Infiltration steigt mit zunehmender Tiefenlage des Minimums an (Abb. 30). Die Tiefenlage des Carbonatminimums wird teilweise von der Probenahme abhängen. Aber auch der ursprüngliche Carbonatgehalt und das Ausmaß der Bodendurchfeuchtung bei der Carbonatverlagerung werden einen entscheidenden Einfluß auf den Verlauf der Verteilungskurve ausgeübt haben. Die aus den Abb. 29 und 30 ersichtlichen Abweichungen von der errechneten Beziehung zwischen Carbonatmaximum bzw. Carbonatminimum und Infiltrationsraten werden teilweise auf ähnlichen Ursachen beruhen. Solche Abweichungen treten bei allen untersuchten Bodentypen auf. Auffallend stark sind sie beim Carbonatminimum der Meßstellen des 'Regosol' - Profiles 10 und bei Meßstelle 1 von Profil 12 ('Yellow Soil').

6. Die Wasserverteilung im Boden

Um die Bestimmung der infiltrationsbeeinflussenden oder zumindestens der mit den Infiltrationsraten korrelierbaren Bodeneigenschaften zu erleichtern, empfiehlt das U.S. Bureau of Reclamation (1950), die Wasserverteilung im Boden zu ermitteln. Zu diesem Zweck wird nach beendeter Infiltrationsmessung durch die Meßstellenmitte eine Profilwand angelegt und an dieser die Grenze des durch die Wasserinfiltration durchfeuchteten Bodenvolumens vermessen.

Um eine Vorstellung vom Ablauf der Bodendurchfeuchtung zu gewinnen, wurde vor Meßbeginn neben einer der Infiltrationsmeßstellen von 'Regosol' - Profil 11 ein weiteres Profil aufgegraben. Während der sich anschließenden 6 1/2-stündigen Infiltrationsmessung wurde beobachtet, wie



- 'Gray Desert Soil'-Profil
- x 'Yellow Soil'-Profil
- ▲ 'Regosol'-Profil

Abb.30 Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des Carbonatminimums

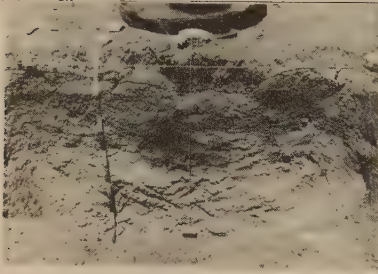
sich das Wasser allmählich an der Profilwand ausbreitete. (Abb. 31). Das Wasser bewegte sich unter der Oberfläche und über dem Carbonatanreicherungs-horizont bevorzugt lateral, wodurch an der Befeuchtungsfront seitliche Ausbuchtungen entstanden. Die vertikale Wasserbewegung kam aber trotz starken lateralen Flusses nicht zum Erliegen, sondern setzte sich in breiter Front nach unten fort. In den Abb. 32 bis 34 sind einige weitere Beispiele der räumlichen Wasserverteilung angeführt. Diese Auswahl gibt eine annähernde Übersicht über die Variationsbreite der auftretenden Formen.

Bei fast sämtlichen Profilen war eine infolge lateraler Wasserbewegung entstandene seitliche Ausbuchtung der Wasserverteilung festzustellen. Teilweise lagen sogar mehrere Ausbuchtungen übereinander (Profil 11, 14). Die Tiefenlage dieser Ausbuchtungen variiert bei den einzelnen Meßstellen und es ergab sich sowohl für unbearbeitete als auch flach bearbeitete Böden eine enge Beziehung zwischen der Lage der Ausbuchtungen und den Infiltrationsraten (Abb. 35). Es fällt in Abb. 35 auf, daß auch hier wie bei Beziehung Infiltrationsrate - Carbonatminimum die am 'Regosol'-Profil 10 ermittelten Werte von der Kurve stärker abweichen, und zwar sowohl bei unbearbeitetem als auch bei flach bearbeitetem Boden. Profil 10 zeichnet sich im übrigen durch einen fossilen (A) - Horizont aus. Da insbesondere bei den 'Gray Desert Soils' die Tiefenlage der beiderseitigen Ausbuchtungen häufig uneinheitlich waren, wurden sie zur Berechnung der Kurven gemittelt.

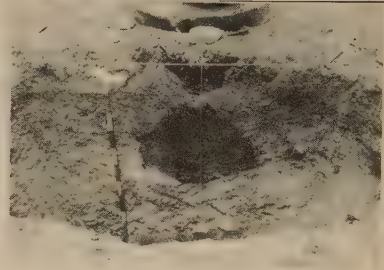
Bei der Ermittlung obiger Beziehung blieben die Meßstellen 2/2 (Profil 2, Meßstelle 2), 13/5 und die Meßstellen von Profil 11 unberücksichtigt. Die Befeuchtungsfronten der Meßstellen 2/2 und 13/5 besitzen keine deutliche Ausbuchtung (Abb. 33). Beide Meßstellen zeichneten sich durch hohe Infiltrationsraten aus. Auf dem Mergelboden von Profil 11 war infolge hohen natürlichen Bodenwassergehaltes eine einwandfreie Ermittlung der räumlichen Wasserverteilung

Befeuchtungsfront
nach

155 Min.



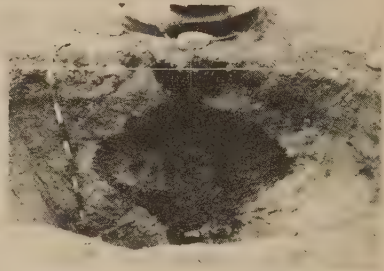
170 Min.



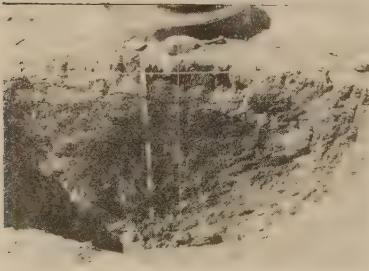
200 Min.



235 Min.



290 Min.



405 Min.

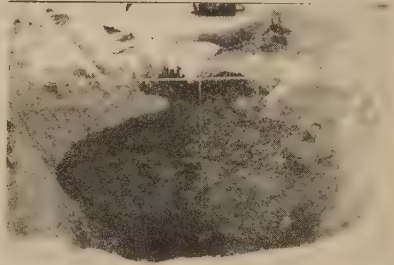


Abb.31 Ablauf der Bodendurchfeuchtung während der Wasserinfiltration (Regosol - Profil 11)

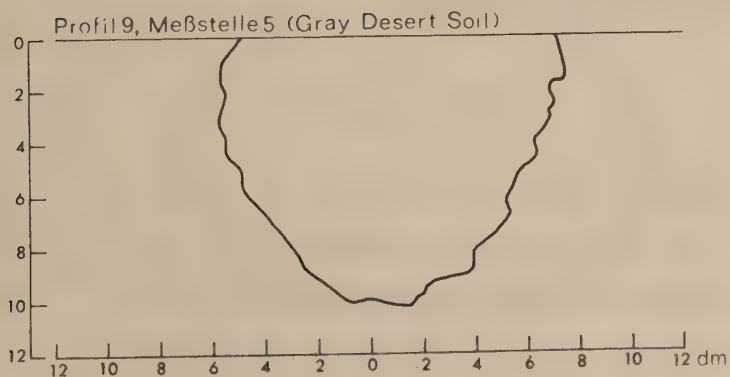
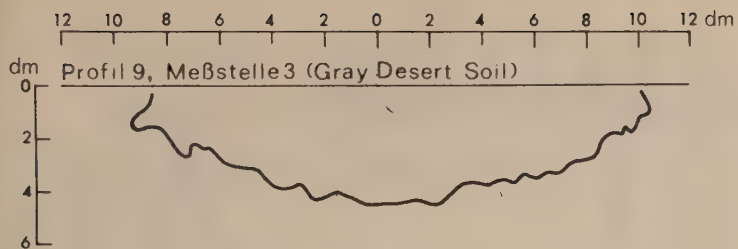


Abb.32 Beispiele der Durchfeuchtungsfront bei verschiedenen Böden, nach Formen geordnet

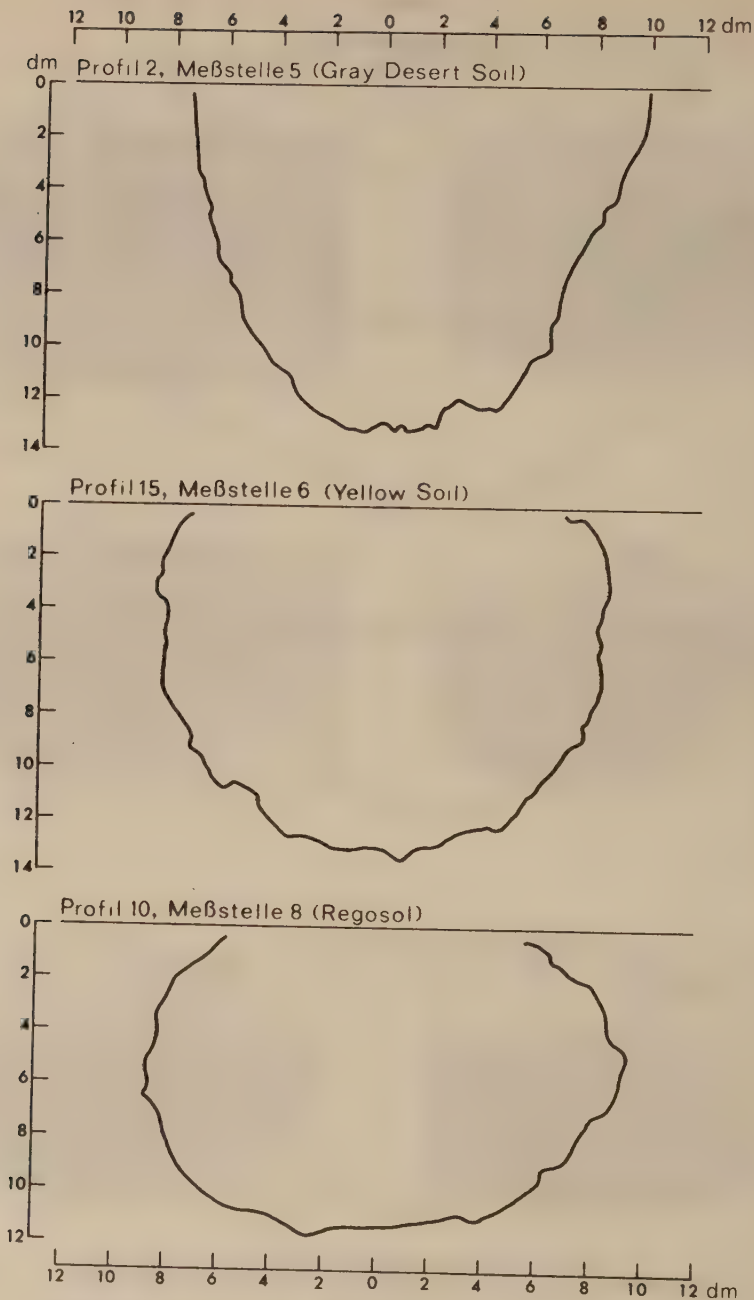


Abb.33 Beispiele der Durchfeuchtungsfront bei verschiedenen Böden, nach Formen geordnet

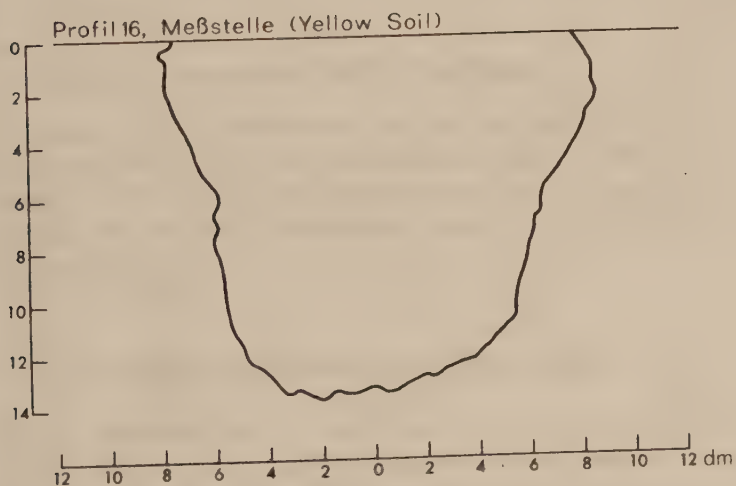


Abb.34 Beispiele der Durchfeuchtungsfront bei verschiedenen Böden, nach Formen geordnet

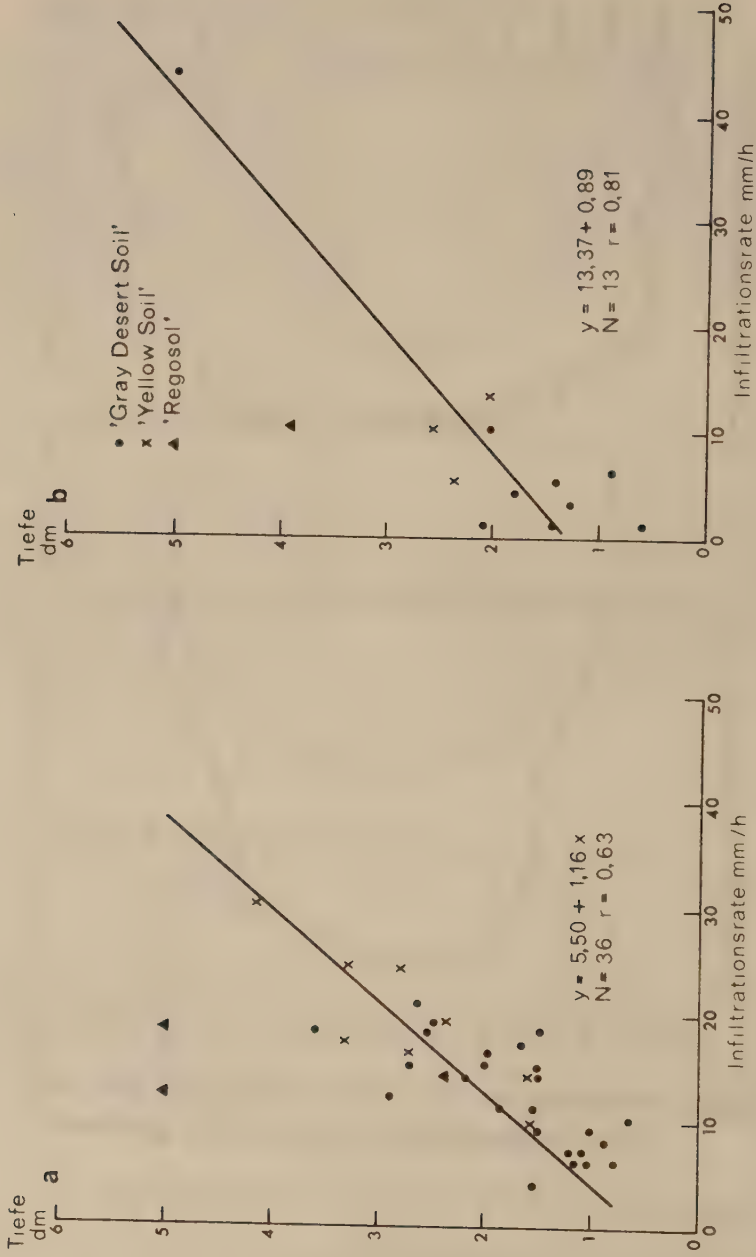


Abb.35 Beziehung zwischen Tiefenlage der Ausbuchtung der Befeuchtungsfront und der Infiltrationsrate für a) bearbeiteten und b) un bearbeiteten Boden

nicht möglich.

Die Eignung der Beziehung zwischen Infiltrationsraten und Tiefenlage der Ausbuchtung der Befeuchtungsfront zur Bestimmung von Merkmalen, die mit der Infiltrationsrate korrelieren, wurde an Hand der in dieser Arbeit beschriebenen Beziehung zwischen Tiefenlage des Bodenartenwechsels bzw. des Carbonatminimums und der Infiltrationsrate überprüft. Es zeigt sich, daß auch zwischen Tiefenlage des Bodenartenwechsels bzw. des Carbonatminimums und der Ausbuchtung der Befeuchtungsfront eine Beziehung besteht (Abb. 36). Im südlichen Hochland von Jordanien ist es somit möglich, über die Befeuchtungsfront Bodenmerkmale zu ermitteln, die mit der Infiltrationsrate korrelieren.

7. Diskussion

7.1 Infiltrationseigenschaften der Böden

Es wurden einige Bodentypen aus dem südlichen Hochland von Jordanien eingehender untersucht, um die für sie in unbearbeitetem, d.h. im vorgefundenen Zustand und nach flacher Bearbeitung charakteristischen Infiltrationsraten zu ermitteln.

7.1.1 Infiltrationsraten unbearbeiteter Böden

An den unbearbeiteten 'Gray Desert Soils' wurden fast ausschließlich niedrige Infiltrationsraten festgestellt. In Abb. 37 wurden die Infiltrationsraten in Form einer Häufigkeitsverteilungskurve dargestellt. Aus der Abbildung geht deutlich hervor, daß sich die Meßwerte im Bereich von 1 bis 3 mm/h häufen. Als Streubereich wurden Infiltrationsraten von 1 bis 6 mm/h errechnet.

Die niedrigen Infiltrationsraten sind vor allem auf die

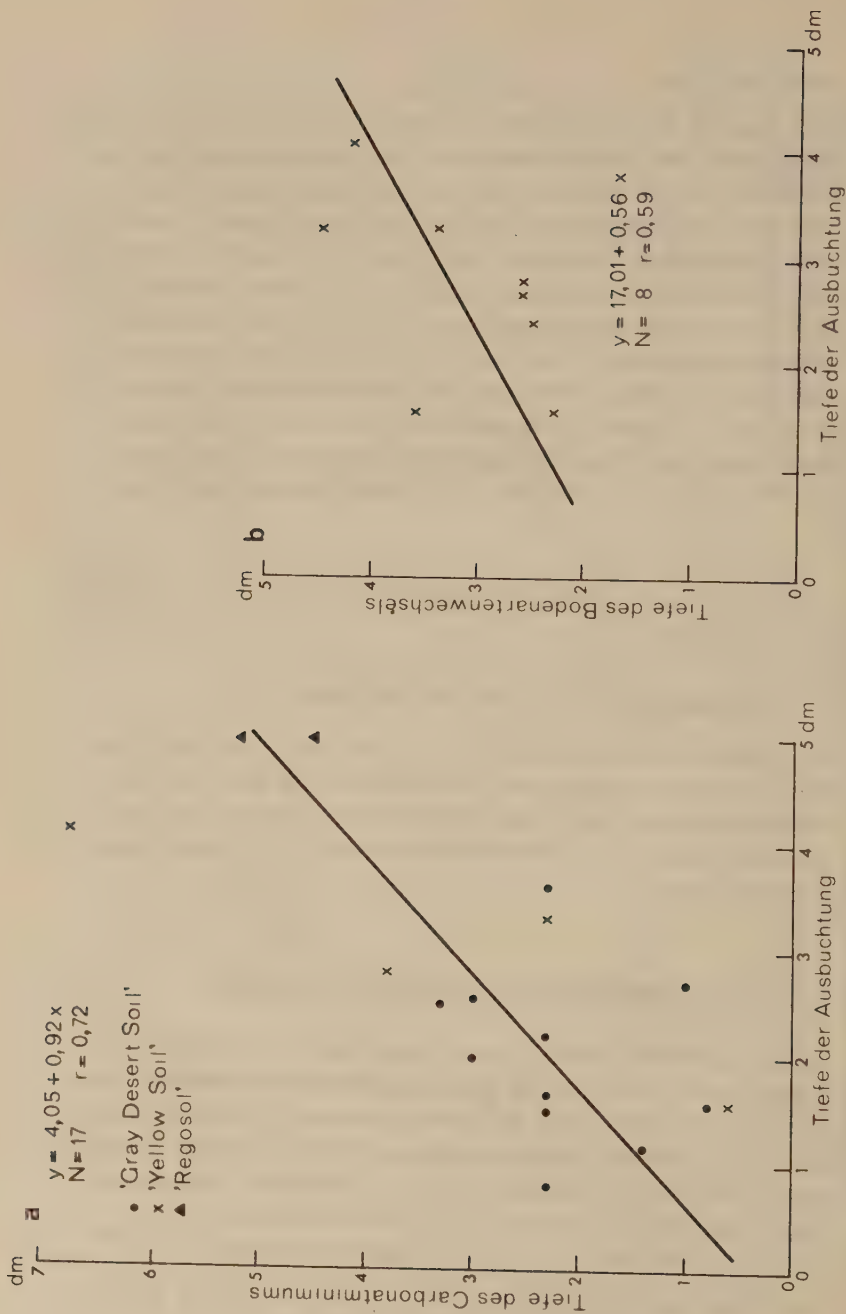


Abb. 36 Beziehung zwischen Tiefenlage der Ausbuchtung der Befeuhtungsfront und Tiefenlage a) des Carbonatminimums und b) des Bodenartenwechsels

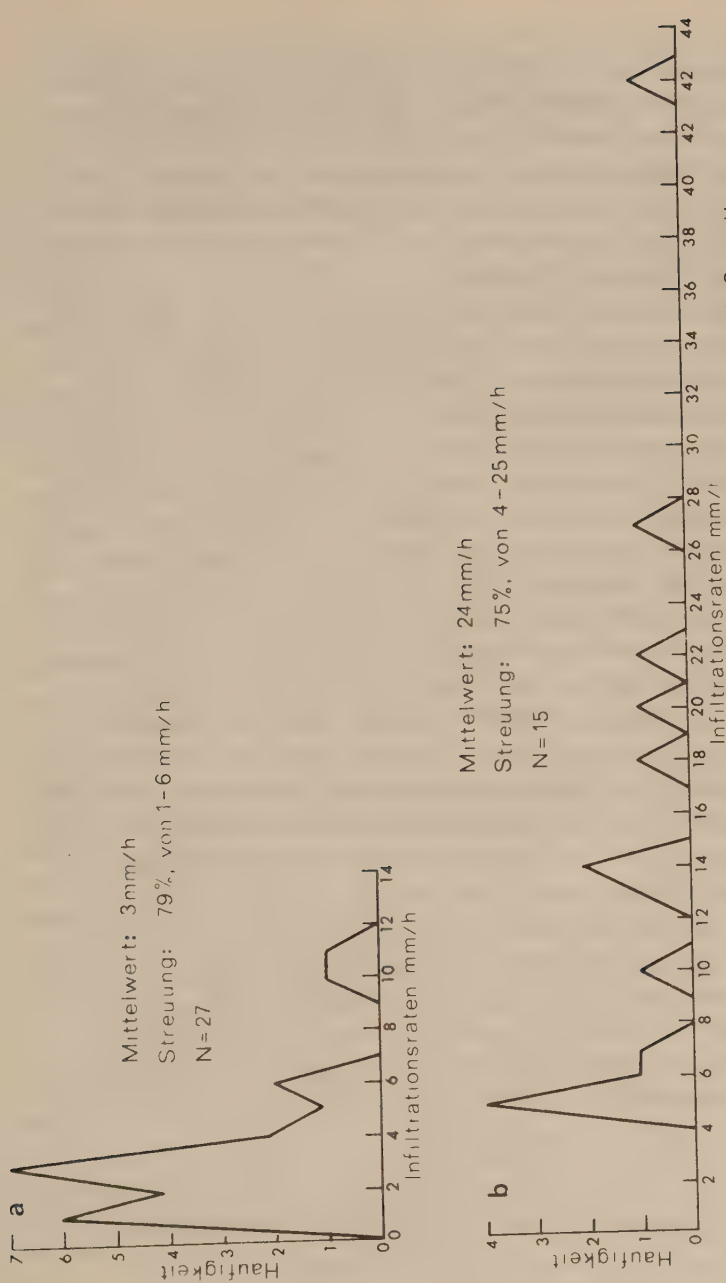


Abb.37 Häufigkeitsverteilung der Infiltrationsraten unbearbeiteter Meßstellen von a)'Gray Desert Soils' und b)'Yellow Soils'

Beschaffenheit des (1) - Horizontes zurückzuführen. Dieser besteht allgemein aus plattigen Aggregaten, in denen, soweit visuell feststellbar, die Primärpartikel sehr dicht gelagert sind. Es handelt sich aber nicht um Krusten, denn das Plattengefüge weist keine harte Konsistenz auf, sondern läßt sich zwischen den Fingern zerdrücken.

Die niedrigen Infiltrationsraten sind auf den Einfluß der Korngrößenzusammensetzung, der dichten Lagerung und der plattigen Ausprägung des Gefüges auf die Wasserleitfähigkeit des (1) - Horizontes zurückzuführen. Es treten schluffige und feinsandige Lehme auf. DIEBOLD (1954) berichtet, das schluffige Lehme die Wasserleitfähigkeit herabsetzen. Ähnlich äußern sich EAGLEMAN & JAMINSON (1962) über sandige Lehme, die bei der Wassersättigung verdichten und daher nur kleinere Porendurchmesser aufweisen. Nach DIEBOLD (1954) nimmt die Wasserleitfähigkeit mit steigendem Raumgewicht ab. Wie Untersuchungen von LEMOS & LUTZ (1957) zeigen, wirkt sich ein höheres Raumgewicht auch dahin aus, daß die Anzahl der Schwächeflächen abnimmt und zwar besonders dann, wenn das Quellungsvermögen schwach ist, was im (1) - Horizont der 'Gray Desert Soils' aufgrund des geringeren Tongehaltes der Fall ist.

Bei durchfeuchteten Plattenlagen verschwindet die gefügebedingte Porosität fast vollständig. SMITH (1949) führt dies auf die geometrische Beschaffenheit der Platten zurück. In den 'Gray Desert Soils' werden es jedoch weniger die von SMITH angenommenen Quellungs Vorgänge sein, durch

die die gefügebedingte Porosität vermindert wird, sondern die Neigung des schluff- und feinsandreichen Materials, in wassergesättigtem Zustand zu zerschlämmen.

Die Infiltrationsraten von Profil 5 liegen über den an den übrigen 8 'Gray Desert Soil' - Profilen ermittelten Werten. Sie bleiben bei der Streuungsberechnung und in Abb. 37 unberücksichtigt. Bei Profil 5 wird angenommen, daß der (1) - Horizont die Infiltration nicht entscheidend beeinflußt, denn das Gefüge weist keine ausgeprägt plattige, sondern eine subpolyedrische bis plattige Beschaffenheit auf. Der Profilaufbau, insbesondere der relativ hohe Humusgehalt bis in 60 cm Tiefe, deutet auf eine kolluviale Entstehung des Bodens hin. Dadurch ließe sich die schwache Ausbildung des plattigen Gefüges im (1) - Horizont erklären. Eine Entstehung durch Bodenabtrag infolge von Schichtfluten ist aufgrund der Geländeneigung und der geringen Dichte der Steindecke nicht ausgeschlossen. Wie JUNG (1962) sowie LAMB & CHAPMAN (1943, zit. in GRANT & STRUCHTEMEYER 1959) berichten, wirkt ein dichter Steinbelag der Erosion durch Wasser entgegen. (

Die niedrige, für die 'Gray Desert Soils' des südlichen Hochlandes von Jordanien charakteristische Infiltrationsrate, ist an ein plattiges Gefüge des (1) - Horizontes gebunden. Zwar wird von MOORMAN (1959) in der Beschreibung der 'Gray Desert Soils' Jordaniens dieses plattige Gefüge nicht erwähnt, GRÜNEBERG (mündl. Mitteilung) konnte jedoch bei seinen Untersuchungen in Azraq und El Jafr bei 'Gray Desert Soils' allgemein ein mehr oder weniger plattiges Gefüge beobachten. Somit ist dieses Gefüge nicht nur auf die 'Gray Desert Soils' des Arbeitsgebietes beschränkt. RAVIKOVITCH (1960) weist darauf hin, daß bei den in Israel auftretenden 'Gray Desert Soils' (in Israel als 'Reg' bezeichnet) die Infiltration gelegentlich durch 'Krustenbildung' beeinträchtigt wird. Die von DAN, YAALON, KOYUMDJISKY & RAZ (1962) sowie DAN & KOYUMDJISKY (1963) vorliegende Beschreibung lassen bei den 'Gray

Desert Soils' Israels eine ähnliche Gefügearsprägung vermuten, wie sie im südlichen Hochland von Jordanien auftritt. Die genannten Autoren berichten von einer dichten Matrix im (1) - Horizont, in die blasenartige Poren eingelagert sind. Diese Erscheinung tritt auch im Arbeitsgebiet auf. Ein solches Gefüge wurde außerdem von SPRINGER (1858) im Lahontan Basin, Nevada beobachtet.

Die an unbearbeiteten 'Regosols' ermittelten Infiltrationsraten wurden nicht in einer Häufigkeitsverteilungskurve zusammengefaßt, denn die Anzahl der Meßergebnisse reicht hierzu nicht aus. Die Infiltrationsraten streuen gleichmäßig über den Bereich von 5 bis 10 mm/h und liegen somit über den an 'Gray Desert Soils' gemessenen Werten. Sie werden ebenfalls von einem plattigen (1) - Horizont entscheidend beeinflußt. Folgende Merkmale lassen auf eine gegenüber den 'Gray Desert Soils' höhere Wasserleitfähigkeit des Horizontes schließen. Die Tongehalte sind teilweise etwas höher, wodurch die Rißbildung begünstigt wird. In Profil 10 ist der Plattenhorizont besonders mächtig, jedoch gut durchwurzelt. Die Wurzelgänge erhöhen die Wasserleitfähigkeit. Bei Profil 11 treten zwischen den Platten vereinzelte krümelige Aggregate auf. Bei diesem Profil wurde vermutlich ein ursprünglich krümeliges Gefüge zu Platten verdichtet. Dadurch liegen zwischen den Platten größere Hohlräume vor, die die Wasserleitfähigkeit des (1) - Horizontes erhöhen. Der gegenüber den 'Gray Desert Soils' bei beiden Profilen höhere Gehalt an organischer Substanz wird insbesondere durch Verbesserung der Aggregatstabilität die Wasserleitfähigkeit fördern.

Ähnliche Verhältnisse sind auch bei den 'Yellow Soils' feststellbar. Entsprechend bestimmt auch der (1) - Horizont die Infiltrationsraten dieser Böden. Überwiegende Bestandteile dieses Horizontes sind Feinsande und Schluffe. Sie werden, wie oben beschrieben, die Wasserleitfähigkeit beeinträchtigen. Das Gefüge setzt sich nicht nur aus Platten, sondern bei einigen Profilen auch aus Übergangsformen

von Platten zu Subpolyedern oder Krümeln zusammen. Die gefügebedingten Poren sind daher zahlreich und verschwinden bei Befeuchtung nicht vollständig zwischen den runden Aggregaten sofern diese stabil sind. Daraus ergibt sich eine vergleichsweise zu plattigem Gefüge höhere Wasserleitfähigkeit des (1) - Horizontes, die sich auch bei den Infiltrationsraten bemerkbar macht (SMITH 1949).

Die Infiltrationsraten der 'Yellow Soils' konzentrieren sich infolge der stärkeren Gefügeunterschiede im (1) - Horizont nicht wie bei den 'Gray Desert Soils' und den 'Regosols' auf einige wenige Werte, die eine eindeutige Kennzeichnung der Infiltrationseigenschaften dieser Böden ermöglichen, sondern streuen über den weiten Bereich von 4 - 25 mm/h, wie die Ergebnisse der Streuungsberechnung zeigen. In der Häufigkeitsverteilungskurve (Abb. 37) ist ein schwach ausgeprägter Peak im Bereich von 5 mm/h festzustellen, der auf eine schwache Häufung der Werte im unteren Infiltrationsratenbereich hindeutet.

MOORMAN (1969, 19) berichtet über die Infiltrationseigenschaften der 'Yellow Soils', daß bei Böden, die eine 'Kruste' aufweisen, die Wasseraufnahme aus den Winter-niederschlägen gering war. Diese 'Kruste', die nach den vorliegenden Untersuchungen keine Verhärtungserscheinungen zeigt, ist nach MOORMAN auf starke Beweidung zurückzuführen, wie sie auch im Wadi el Uweina und am Tell Abara angetroffen wurde. Die 'Yellow Soils' werden teilweise auch ackerbaulich genutzt. Das Plattengefüge des (1) - Horizontes wird dadurch zerstört und die Ausbildung von krümeligem bis subpolyedrischem Gefüge gefördert; dies bedeutet höhere Infiltrationsraten. Da im Winter die Bodenoberfläche starken Niederschlägen ausgesetzt ist, die zu einer Verschlammung führen und besonders in grob-texturierten Böden die feineren Bestandteile von der Oberfläche in den (1) - Horizont einwaschen (SOR & BERTRAND 1962), bleiben dieses günstige Gefüge und die mit ihm verbundenen höheren Infiltrationsraten nur begrenzte Zeit

erhalten. Die teilweise niedrigen Infiltrationsraten von Profil 16, das auf einer heute noch ackerbaulich genutzten Fläche liegt, sind vermutlich auf die besondere Verschlammungsneigung des feinsandreichen Oberbodens zurückzuführen. Die Infiltrationsraten der 'Yellow Soils' werden nach diesen Ergebnissen erheblich durch die Nutzungsart beeinflusst. Die große Streubreite der Infiltrationsraten ist hierauf zurückzuführen.-Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Infiltrationsraten der untersuchten Böden anscheinend wesentlich von der Wasserleitfähigkeit des (1) - Horizontes abhängig sind. Dieser dominierende Einfluß eines einzigen Horizontes wurde häufig auch bei Böden anderer Gebiete beobachtet und führte zu der Ansicht, daß die Höhe der Infiltrationsraten vom Horizont geringster Wasserleitfähigkeit bestimmt wird (ELLISON 1947, RUSSELL 1947, BOWER 1956, die bei SOR & BERTRAND 1962 zitiert werden sowie HANKS & BOWERS 1962). SHARTZENDRUBER (1960) formulierte dies als 'limiting layer concept'. Wie jedoch die Modelluntersuchungen von HILLER (1964) sowie HILLER & GARDNER (1969) an 'Krustenböden' zeigen, ist die Infiltrationsrate nicht ausschließlich von dem Horizont geringster Wasserleitfähigkeit abhängig, sondern auch von den unter ihm liegenden Bodenhorizonten, in denen sich durch die Wasserinfiltration ein Saugdruck entwickelt. Dadurch entsteht ein Gradient durch den (1) - Horizont, der die Infiltration beeinflusst. Das Gefüge im (2) - Horizont ist bei den 'Gray Desert Soils' überwiegend sehr feinkörnig, bei den 'Yellow Soils' und 'Regosols' hingegen subpolyedrisch bis krümelig. Daraus resultieren möglicherweise unterschiedliche Gradienten durch den (1) - Horizont, die sich auch bei den Infiltrationsraten bemerkbar machen. Der Einfluß des obersten Bodenhorizontes wirkt begrenzend für die Infiltration. Daraus ergibt sich die große Bedeutung dieses Horizontes. Niederschlagswasser fließt größtenteils als Oberflächenwasser ab, so daß selbst die geringen Niederschläge bei der Bodendurchfeuchtung nicht

voll zur Wirkung kommen. Darüber hinaus prägt die durch Oberflächenwasserabfluß hervorgerufene Erosion das Landschaftsbild. Infolge der geringen Infiltration werden die Böden nur schwach durchfeuchtet, woraus eine nur spärliche Vegetation resultiert. Wo der natürliche oberste Bodenhorizont vom Menschen verändert wird (z.B. bei den 'Yellow Soils' durch Bearbeitung) findet auch eine Veränderung der Wasserinfiltration statt. Allerdings wird mit zunehmender Verschlämmung die Infiltration erneut gehemmt. Es ist daher bei Inkulturnahme die Infiltrationsrate zu verbessern, denn nur dann können die geringen Niederschläge im Boden gespeichert und dadurch die Vegetation ausreichend mit dem lebensnotwendigen Wasser versorgt werden.

Die unterschiedlichen Infiltrationsraten der drei untersuchten Bodentypen 'Gray Desert Soil', 'Yellow Soil' und 'Regosol' lassen sich mit den beobachteten Gefügemerkmalen und anderen Charakteristiken wie Korngrößenzusammensetzung, dichte Lagerung, Gehalte an organischer Substanz und Durchwurzelungsintensität erklären. Dieses ist von Bedeutung für die Erklärung unterschiedlicher Bodenbildungsprozesse, die maßgeblich von der Eindringtiefe des Niederschlagswassers beeinflusst werden.

7.1.2 Infiltrationsraten bearbeiteter Böden

Mit Bearbeitung wird der infiltrationshemmende oberste Bodenhorizont weitgehend verändert, wodurch er seinen bestimmenden Einfluß auf die Infiltration verliert. Dieser Fall ist bei sämtlichen untersuchten Böden eingetreten. Ein starker Anstieg der Infiltrationsraten wurde bei den 'Gray Desert Soils' beobachtet. Wie die Streuungsberechnung ergab und auch

aus der Häufigkeitsverteilung (Abb. 38) ersichtlich ist, häufen sich die Infiltrationsraten der 'Gray Desert Soils' zwischen Werten von 5 bis 20 mm/h und liegen damit über den auf unbearbeitetem Boden gewonnenen Ergebnissen. Die Infiltrationsraten befinden sich fast vollständig und vor allem gleichmäßig verteilt im Bereich von 5 bis 20 mm/h, so daß durch ihn die Infiltrationseigenschaften der 'Gray Desert Soils' deutlich gekennzeichnet sind.

Auch die beiden untersuchten 'Regosol' - Profile weisen nach Bodenbearbeitung höhere Infiltrationsraten auf. Die stark voneinander abweichenden Eigenschaften der beiden Profile 10 (Auftreten eines fossilen (A) - Horizontes) und 11 (bei den einzelnen Meßstellen unterschiedlich tief verwitterter Mergel) sowie die starke Streuung der Infiltrationsraten bei Profil 11 deuten darauf hin, daß sich bei den 'Regosols' im südlichen Hochland von Jordanien die Infiltrationsraten nicht wie bei den 'Gray Desert Soils' in einem bestimmten Bereich häufen. Für die bearbeiteten 'Regosols' charakteristische Infiltrationsraten bestehen daher nicht.

Die Infiltrationsraten von unbearbeiteten und bearbeiteten 'Yellow Soils' sind nicht deutlich voneinander abgrenzbar, da sich die Streubereiche stark überschneiden. Wie die Streuungsberechnung ergab, liegen die Infiltrationsraten der bearbeiteten 'Yellow Soils' überwiegend im Bereich 14 - 28 mm/h. Die Häufigkeitsverteilung (Abb. 38) weist bei 22 mm/h einen Peak auf. Beiderseits des Peaks nimmt die Häufigkeit der einzelnen Meßwerte allmählich ab, so daß eine klare Abgrenzung eines für die 'Yellow Soils' typischen Infiltrationsbereiches, wie sie bei den 'Gray Desert Soils' möglich war, nicht vorgenommen werden kann.

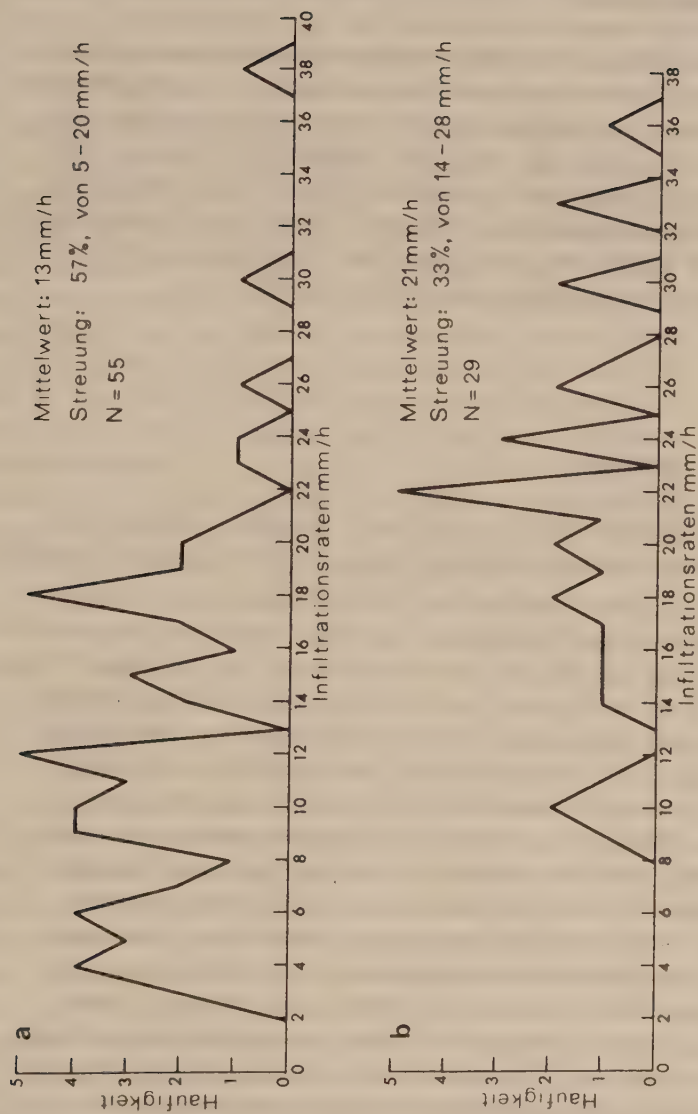


Abb. 38 Häufigkeitsverteilung der Infiltrationsraten bearbeiteter Meßstellen von **a)** 'Gray Desert Soils' und **b)** 'Yellow Soils'

7.2 Einfluß einzelner Bodenmerkmale auf die Infiltrationsraten.

Die Abschätzung der Infiltrationseigenschaften an Hand morphologisch erkennbarer Bodenmerkmale ist nach der vorliegenden Untersuchung bei den Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien möglich. Festgestellt wurde, daß Bodenart, Gefüge und Carbonatverteilung eine Beziehung zur Infiltrationsrate aufweisen, jedoch ist einzuschränken, daß die Stärke des Einflusses der verschiedenen Merkmale teilweise von Bodentyp zu Bodentyp variiert.

7.2.1 Bodenart

Für die 'Gray Desert Soils' und 'Regosols' wurde keine Beziehung zwischen Bodenart und Infiltrationsrate ermittelt.

Die Infiltrationsraten der 'Yellow Soils' werden durch den Wechsel der Bodenarten von Lehm, sandigem oder schluffigem Lehm zu tonigem Lehm beeinflusst, der in etwa 20 bis 50 cm u.G. auftritt. Eine flachere Lage dieses Wechsels zeigt eine niedrigere Infiltrationsrate an. Der tonige Lehm besitzt vermutlich eine geringere Wasserleitfähigkeit, die sich besonders bei flacher Lage der tonig lehmigen Schicht auswirkt. Ein Bodenartenwechsel wurde auch bei den 'Gray Desert Soils' und bei den 'Regosols' beobachtet. Zwischen ihm und den Infiltrationsraten dieser Böden bestand jedoch kein merklicher Zusammenhang. Dies mag auf Unterschiede in der Ablagerung des Bodenmaterials beruhen. Die 'Gray Desert Soils' entstanden überwiegend aus fluviatilen Sedimenten, während die untersuchten 'Yellow Soils' vorwiegend kolluvialen Ursprungs sind. Kolluviale Ablagerungen ermöglichen im Gegensatz zu fluviatilen Sedimenten eher die Ausbildung

eines lockeren Aggregatgefüges; sie begünstigen dadurch die Wasserleitfähigkeit und damit auch die Infiltration, so daß sich Unterschiede in der Bodenartenzusammensetzung der Profile stärker bemerkbar machen. Dies trifft für die 'Yellow Soils' zu.

Ein anderer entscheidender Einfluß kann vom Alter der Böden ausgehen. Die pleistozänen fluviatilen Sedimente, aus denen sich die 'Gray Desert Soils' im Arbeitsgebiet entwickelten, waren im Würm - Pluvial schon feuchterem Klima ausgesetzt (HUCKRIEDE & WIESELMANN 1968). Darauf weisen die mächtigen Kalkablagerungen in den Kiesschichten dieser Böden hin. Kolluviale Ablagerungen können sich aber auch in den trockeneren Klimaten des Holozäns entwickeln. Die durch das Alter der Sedimente bedingten unterschiedlichen Klimaeinflüsse wirkten sich auf die Bodenentwicklung aus, so daß bei den 'Gray Desert Soils' einige andere infiltrationsbeeinflussende Eigenschaften stärker differenziert wurden und sich daher der Einfluß des Bodenartenwechsels nicht mehr bemerkbar macht.

7.2.2 Gefüge

Zu den infiltrationsbeeinflussenden Eigenschaften, die den Einfluß der Bodenart überlagern können, gehört das Gefüge. Eine Beeinträchtigung der Infiltrationsraten kann von dem feinkörnigen (2) - Horizont der 'Gray Desert Soils' angenommen werden, da in ihm keine größeren Poren vorkommen. Daran wird auch die Lockerung dieses Horizontes durch Umgraben nichts Wesentliches ändern. Die feinen Aggregate werden sich erneut dicht aneinander lagern. Die Infiltrationsraten weisen zur Mächtigkeit des feinkörnigen (2) - Horizontes eine schwache negative und zur Aggregatgröße sowie zur stärker feinsubpolyedrischen

Gefügeausbildung eine schwache positive Beziehung auf.

Es stellt sich die Frage, ob diese geringen Gefügeunterschiede die Infiltrationsraten nach Bodenlockerung noch unterschiedlich beeinflussen oder ob nicht beides, die Infiltrationsraten und die Ausprägung des feinkörnigen GefügehORIZONTES, von den Eigenschaften tieferliegender Bodenhorizonte abhängig sind. Darauf deuten die im Profil 3 gewonnenen Ergebnisse hin. Dieses Profil zeichnet sich durch niedrige Infiltrationsraten und einen besonders mächtigen feinkörnigen (2) - Horizont aus. In dem sich nach unten anschließenden Horizont sind die Aggregate lamellenförmig zu einem dichten Gefüge angeordnet, von dem angenommen werden kann, daß es eine extrem niedrige Wasserleitfähigkeit besitzt und daher die Infiltrationsraten entscheidend beeinflussen wird. In anderen Profilen scheint der Unterboden aufgrund des dort beobachteten Gefüges durchlässiger zu sein. Die Aggregate sind bei diesem Profilen im feinkörnigen GefügehORIZONT etwas größer als bei Profil 3. Eine Abhängigkeit sowohl der Infiltrationsraten als auch der Ausprägung des feinkörnigen Gefüges von der Durchlässigkeit tieferliegender Horizonte ist demnach nicht ausgeschlossen. Dies kann dadurch erklärt werden, daß Luft zwischen Befeuchtungsfront und undurchlässigem Horizont unter Druck gesetzt wird, wodurch es zur Absonderung von Aggregaten kommt (SIUTA. & TERELAK 1965).

Zwischen Subpolyedern sind die gefügebedingten Poren zahlreicher als bei den Polyedern. Daher kommen bei den 'Yellow Soils' mit stärker ausgeprägtem Subpolyedergefüge höhere Infiltrationsraten vor. Die Beziehung besteht nur zwischen parallelen Meßstellen.

7.2.3 Carbonatverteilung

Die Untersuchung der Carbonatverteilung ergab bei allen Bodentypen eine Abhängigkeit der Infiltrationsraten von der Tiefenlage der Ca - Horizonte im Unterboden. Diese Beziehung ist sehr eng. Sie läßt sich jedoch nur bei größerem Aufwand zur Voraussage der Infiltrationsraten einsetzen, da im Arbeitsgebiet die Ca - Horizonte überwiegend unter 100 cm liegen. Diese Beziehung beruht darauf, daß die Carbonatanreicherung die Porosität verringert, was sich in einer Abnahme der Wasserleitfähigkeit auswirkt. Je tiefer der Anreicherungshorizont liegt, um so schwächer ist sein Einfluß auf die Gesamtwasserleitfähigkeit des Profiles, die sich in den Infiltrationsraten widerspiegelt. Eine engere Beziehung zu den Infiltrationsraten weist außerdem die Tiefenlage des Carbonatminimums auf. Dieses Ergebnis wurde an 'Gray Desert Soils', 'Yellow Soils' und an einem der beiden untersuchten 'Regosol' - Profile (Profil 10) gewonnen. Es besteht somit für die Böden des südlichen Hochlandes von Jordanien die Möglichkeit, die Höhe der Infiltrationsraten anhand eines einfach erfaßbaren Kriteriums annähernd vorauszusagen. Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Tiefenlage des Carbonatminimums zur Voraussage der Infiltrationsraten ist jedoch, daß die Carbonatverteilung die Form eines C aufweist. Die Carbonatminima kennzeichnen den Profilabschnitt, bis in den die Wasserleitfähigkeit nicht durch Carbonatanreicherung beeinträchtigt wird. Dieser Profilabschnitt besteht auch bei den Profilen, die den geringsten Carbonatgehalt an der Oberfläche aufweisen; er ist jedoch hier schwer abzugrenzen. Beispiele hierfür wurden bei jedem der drei untersuchten Bodentypen angetroffen ('Gray Desert Soil' - Profil 5, 'Regosol' - Profil 11, 'Yellow Soil' - Profil 14).

Es stellt sich nun die Frage, wie kommt es zur Ausbildung des Carbonatminimums und wie erklärt sich der Zusammenhang zwischen diesem und den Infiltrationseigenschaften der Bodentypen. Zur Genese der Böden des südlichen

Hochlandes von Jordanien sind keine speziellen Untersuchungen durchgeführt worden. Daher werden nachstehend nur einige Überlegungen angeführt und zwei Möglichkeiten der Entstehung diskutiert.

1. Überdeckung alter Böden durch jüngere carbonatreichere Sedimente und
2. Ausbildung von zwei Carbonatanreicherungshorizonten infolge einiger Besonderheiten der Bodenwasserbewegung.

Zu 1. Beim Regosolprofil 10 wurde der Horizont, in dem das Carbonatminimum auftritt, als (A) - Horizont eines fossilen Bodens angesprochen. Es liegt daher der Gedanke nahe, daß es sich allgemein bei den Carbonatminima um fossile Bodenhorizonte handelt, die bei Profil 10 lediglich stärker ausgeprägt sind, da vermutlich durch die Lage im Wadibett humidere Verhältnisse vorlagen und dadurch die Entstehung eines (A) - Horizontes begünstigt wurde. Diese (A) - Horizonte wurden später von jüngeren Sedimenten überlagert. Die Infiltrationsraten scheinen von der Mächtigkeit dieser Sedimente abhängig zu sein.

Im Plateau - Gebiet liegen die Carbonatminima besonders tief, da die häufig anzutreffenden kolluvialen Sedimente die Ausbildung mächtiger Böden über dem fossilen (A) - Horizont begünstigen. Unterschiede zwischen parallelen Meßstellen können ebenfalls auf diese Weise entstehen, denn im Mikrorelief treten Senken auf, in denen bevorzugt kolluviales Material abgelagert wird.

Schwieriger ist die Deutung des Carbonatminimums als Relikt einer fossilen Bodenentwicklung bei den 'Gray Desert Soils'. Auf diesen liegt eine dichte Flintsteindecke, die als Erosionsrückstand mächtiger fluvialer Sedimente angesehen wird (LOWDERMILK 1953, MACHATSCHEK 1959). Diese Flintsteindecke überlagert noch eine gering mächtige Schicht dieser Sedimente. Erst in ca. 20 cm Tiefe folgt das Carbonatminimum, das bei Gültigkeit der obigen Ausführungen als fossiler (A) - Horizont angesehen werden müßte.

Bei den Profilen 4 und 9 fällt ein leichter Anstieg des Gehalts an organischer Substanz mit dem Bereich des Carbonatminimums zusammen. Dies könnte als Hinweis zur Stützung dieser These gewertet werden. Unklar bleibt, warum ausgerechnet wenige Dezimeter über dem fossilen (A) - Horizont der Bodenabtrag annähernd zum Stillstand kam. Andererseits schließt die Existenz der Flintsteindecke die Überlagerung eines fossilen Bodens durch relativ gering mächtige Windsedimente nicht aus, da sie auch ohne die Annahme von Erosionsvorgängen entstanden sein könnte. JESSUP (1960), MABBUTT (1965) und SPRINGER (1958) erklären die Entstehung der Flintsteindecke durch 'Wanderung' von Steinen an die Oberfläche infolge von Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen bzw. infolge des Zusammenbruchs eingeschlossener Luftblasen. Auch Frosteinwirkung ist bei der Verlagerung von Steinen an die Oberfläche nicht auszuschließen, da HAUDE (1969) eine Temperatursenkung während der Würm - Kaltzeit in Palästina für möglich hält. Eine Bewegung der Steine zur Oberfläche durch Druckveränderung bei der Salzkristallisation mag ebenfalls eine Rolle spielen. GRÜNEBERG (mündl. Mitteilung) beobachtete im Gebiet des Azraq - Beckens auf sehr stark salzhaltigen Böden Erscheinungen an der Bodenoberfläche, die Frostaufbrüchen sehr ähnlich waren. Rüttelbewegungen durch Stürme und Windhosen mögen ebenfalls zur Bildung der Steindecke beigetragen haben. Damit wäre das Carbonatminimum durch Überlagerung eines fossilen Bodens mit entkalktem (A) - Horizont durch carbonatreiche Sedimente erklärbar.

Zu 2. Eine weitere Hypothese über die Ausbildung des Carbonatminimums läßt sich aus den bei RAVIKOVITCH & PINES (1967) angeführten Untersuchungen von BEN YAIR (1957) ableiten. Danach wird nicht sämtliches gelöstes Calciumcarbonat in den Unterboden ausgewaschen, sondern es gelangt bei starker Verdunstung ein Teil wieder an die Oberfläche. Die niedrigsten Carbonatgehalte kommen daher nicht unbedingt an der Bodenoberfläche vor, sondern dort, wo die

Abwärtsbewegung des Wassers weitgehend zum Stillstand gekommen ist. Dies kann sowohl durch Stauhorizonte als auch durch begrenzte Durchfeuchtung bewirkt werden. Die Verteilungsform der Carbonatgehalte wird daher von verschiedenen Bodeneigenschaften als auch atmosphärischen Einflüssen abhängen. Stauschichten können durch Carbonateinlagerungen entstehen. Diese liegen um so tiefer, je höher die Niederschläge sind, da mit der Höhe der Niederschläge die Tiefe der Carbonatauswaschung zunimmt (HARPER 1957). Im Arbeitsgebiet besteht ein Niederschlagsgefälle vom Plateau zur Wüstenzone. Die dadurch bedingte unterschiedliche Carbonatauswaschung erklärt die überwiegend höheren Infiltrationsraten der 'Yellow Soils'. Die tief liegenden Ca - Horizonte der 'Gray Desert Soils' können nicht unter den heutigen trockenen Klimaverhältnissen entstanden sein. Bei den 'Yellow Soils' werden die höheren Niederschläge des Plateaus die Tiefenlage des Carbonatminimums heute noch beeinflussen. Die durchschnittliche Durchfeuchtungstiefe läßt sich nach YAALON (1964) an Hand der Tiefenlage des Salzanreicherungs-horizontes abschätzen. Bei den 'Gray Desert Soils' befindet sich dieser nahe der Oberfläche, bei den 'Yellow Soils' im Unterboden.

Abweichungen von der festgestellten Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des Carbonatminimums haben sich insbesondere bei den Profilen 10 (Regosol) und 12 (Yellow Soil) ergeben. Sie sind bei Profil 10 auf Ablagerung jüngerer carbonatreicherer fluviatiler Sedimente, bei Profil 12 auf die Überdeckung durch kolluviale ebenfalls carbonatreiche Sedimente zurückzuführen, durch die die Beziehung zwischen der Höhe der Infiltrationsrate und Tiefenlage des Carbonatminimums gestört ist.

Bei den Profilen 5, 11 und 14 sind die geringsten Carbonatgehalte an der Bodenoberfläche anzutreffen. Dies läßt sich bei Profil 5 (Gray Desert Soil) durch Bodenabtrag erklären. Bei Profil 14 (Yellow Soil) liegen Carbonat-

und Salzgehaltsmaximum im Bereich von 80 bis 150 cm. Dies deutet auf eine gleichmäßige Durchfeuchtung des Bodens bis in diese Tiefe hin. Die Carbonatanreicherung ist hier noch nicht soweit fortgeschritten, daß sich ein Stauhorizont daraus entwickelt hat. Es fehlen somit die Voraussetzungen für die Ausbildung eines Carbonatminimums. Aus der geringeren Carbonatanreicherung erklärt sich auch die bei diesem Profil beobachtete mittlere Infiltrationsrate. Ähnliche Verhältnisse liegen auch beim Profil 11 (Regosol) vor.

7.3 Wasserverteilung

Die laterale Wasserbewegung, welche die seitliche Ausbuchtung der Durchfeuchtungsfront bewirkt, tritt über einer Stauschicht ein. Die Übereinstimmung der Ausbuchtung mit der Tiefenlage des Carbonatminimums bestätigt, daß sich das Carbonatminimum über einer Stauschicht bildet. Staukörper ist der Carbonatanreicherungshorizont. Die Beziehung zwischen Tiefenlage der Ausbuchtung und des Bodenartenwechsels, wie sie bei den 'Yellow Soils' ermittelt wurde, zeigt, daß auch Zunahme des Tongehaltes im Unterboden Stauwirkung hervorruft.

Bei den Profilen 11 und 14 wurde eine doppelte seitliche Ausbuchtung der Befeuchtungsfront festgestellt. Bei diesen Profilen liegt somit je eine Stauschicht im Ober- und Unterboden vor. Da beide Profile Merkmale einer tiefen durchschnittlichen Durchfeuchtung durch Niederschläge aufweisen. (höchster Carbonat- und Salzgehalt liegen im Unterboden in gleicher Tiefe), ist die Stauwirkung im Oberboden nur schwach. Bei der Versickerung größerer Wassermengen während der Infiltrationsmessung macht sie

sich jedoch durch die Ausbildung einer 2. Ausbuchtung bemerkbar. Die Stauwirkung im Oberboden beruht bei Profil 11 auf einem Übergang von subpolyedrischem zu kohärentem Gefüge und bei Profil 14 auf dem Übergang des Oberbodens in den Ca - Horizont. Im Unterboden wirkt bei Profil 11 der Übergang zum Ca - Horizont, bei Profil 14 der Horizont mit höchstem Carbonatgehalt als Staukörper.

Auch in anderen Wüstengebieten werden Verhältnisse auftreten, wie sie im südlichen Hochland von Jordanien beobachtet wurden, denn hoher Carbonatgehalt und zum Unterboden abnehmende Wasserleitfähigkeit sind Bodenmerkmale, die häufig vorkommen. Klimatische Bedingungen, wie sie heute auf dem Plateau des südlichen Hochlandes von Jordanien vorliegen, oder Steindecken über Wüstenböden, die Bodenbildungen aus früheren humideren Zeiten schützen, sind ebenfalls oft anzutreffen.

8. Zusammenfassung

An 'Gray Desert Soils', 'Yellow Soils' und 'Regosols' des südlichen Hochlandes von Jordanien wurden folgende bodenphysikalischen Probleme untersucht:

1. Weisen die genannten drei Bodentypen charakteristische Infiltrationsraten auf, und zwar nicht nur im unbearbeiteten, sondern auch flach bearbeiteten Zustand; letzteres ist wichtig, da die Infiltrationseigenschaften bei ackerbaulicher Nutzung der Böden von Belang sind.
2. Kann die Höhe der Infiltrationsraten von bearbeiteten Böden an Hand anderer Bodenmerkmale abgeschätzt werden.
3. Eignet sich die räumliche Wasserverteilung zur Suche nach Merkmalen, die eine Beziehung zur Infiltrationsrate besitzen.

Es wurden zur Klärung dieser Fragen folgende Untersuchungen durchgeführt: Infiltrationsmessungen nach der Doppelring-infiltrationsmethode mit jeweils drei Wiederholungen für unbearbeitete und sechs für bearbeitete Böden, die 20 cm tief umgegraben waren; Ansprache der Bodenart, Bestimmung der Farb- und Gefügemerkmale sowie der Verteilung von Carbonaten und Gips; Laboruntersuchungen über den Humus-, Carbonat- und Salzgehalt, die Zusammensetzung der Salze und den pH - Wert der Bodenpaste; Ermittlung der räumlichen Wasserverteilung nach beendeter Infiltration an einer Profilwand durch die Meßstellenmitte.

Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

1a. Im unbearbeiteten Zustand streuen die Infiltrationsraten der 'Gray Desert Soils' überwiegend von 1 - 6 mm/h, die der 'Yellow Soils' von 4 - 25 mm/h. Es bestehen daher für beide Bodentypen charakteristische Infiltrationsbereiche. Bei den 'Gray Desert Soils' konzentrieren sich die Infiltrationsraten auf einige wenige Werte, für die 'Yellow Soils' hingegen liegen sie innerhalb weiter Grenzen. An 'Regosols' wurden Infiltrationsraten von 5 - 10 mm/h gemessen. Sie entsprechen den niedrigsten an 'Yellow Soil' - Profilen gewonnenen Meßwerten. Der entscheidende Einfluß auf die Infiltrationsraten unbearbeiteter Böden geht von den Eigenschaften des (1) - Horizontes aus, der meist eine geringe Wasserleitfähigkeit besitzt, so daß die Eigenschaften anderer Horizonte überdeckt werden. Unterschiede zwischen den Infiltrationsraten der 'Gray Desert Soils' und der 'Yellow Soils' werden erklärt durch das stark ausgeprägte plattige Gefüge des (1) - Horizontes der 'Gray Desert Soils', während bei den 'Yellow Soils' in diesem Horizont auch Übergänge von Krümel- oder Subpolyedergefüge zu Plattengefüge beobachtet werden können. Daraus resultiert die starke Streuung der Infiltrationsraten der 'Yellow Soils'. Die 'Yellow Soils' werden sowohl im Weidebetrieb als auch ackerbaulich genutzt. Bei überstarker Beweidung bildet sich durch Tritt der Tiere ein plattiges

Gefüge aus, das die Infiltration hemmt; bei ackerbaulicher Nutzung liegt meist eine günstige Infiltrationsrate vor. Es kann jedoch bei instabilem Gefüge Verschlämmung auftreten, die ebenfalls die Infiltration hemmt.

1b. Durch flache Bearbeitung wurde der Einfluß des (1) - Horizontes verändert. Dadurch wurden höhere Infiltrationsraten erzielt, die sich bei den 'Gray Desert Soils' innerhalb des Bereiches von 5 - 20 mm/h gleichmäßig verteilen. Solche festen Grenzen konnten für die 'Yellow Soils' nicht ermittelt werden. Bei diesen zeichnet sich die Häufigkeitsverteilung der Infiltrationsraten durch einen Peak bei 22 mm/h aus. Beiderseits dieses Peaks nimmt die Häufigkeit der Werte allmählich ab. Als Streubereich wurde 14 - 28 mm/h berechnet. Es besteht somit auch eine starke Überschneidung mit den im unbearbeiteten Zustand ermittelten Werten. Für die 'Regosols' lassen sich keine Grenzwerte angeben, da ihre Infiltrationsraten über einen weiten Bereich streuen. Es wurden an ihnen Werte von 9 - 48 mm/h gemessen. Die breite Streuung wird durch unterschiedlich Tiefe Bodenentwicklung bei den verschiedenen Meßstellen erklärt.

2. Es wurde bei flach bearbeiteten Böden eine Beziehung der Infiltrationsraten zu den drei Merkmalen Bodenart, Gefüge und Carbonatverteilung beobachtet. Die Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Bodenart bzw. Gefüge war nur schwach ausgeprägt und konnte jeweils nur bei einem Bodentyp eindeutig festgestellt werden. Bei den 'Gray Desert Soils' und 'Regosols' sind Beziehungen zwischen Bodenart und Infiltrationsrate nicht nachweisbar. Bei den 'Yellow Soils' dagegen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des Bodenartenwechsels. Das Gefüge der 'Gray Desert Soils' ist im (2) - Horizont überwiegend feinkörnig. Geringe Infiltrationsraten traten zusammen mit besonders feinkörnigem Gefüge auf. Die Infiltrationsraten weisen außerdem zur Mächtigkeit des feinkörnigen Horizontes eine negative, zur Aggregatgröße und zur stärker feinsubpolyedrischen

Gefügeausbildung eine positive Beziehung auf. Eine Wechselwirkung zwischen dem Gefüge des Unterbodens und der Ausprägung des feinkörnigen Horizontes sowie der Infiltrationsraten ist nicht ausgeschlossen. Beschränkt man den Gefügevergleich auf die parallelen Meßstellen jeweils eines Profiles, dann ergibt sich für die 'Yellow Soils', daß die höhere Infiltrationsrate bei stärker subpolyedrischem Gefüge auftritt. Zwischen verschiedenen 'Yellow Soil' - Profilen ergab sich keine deutlich erkennbare Beziehung zwischen Gefüge und Infiltrationsrate. Bei den 'Regosols' aus Mergel wurde ein Einfluß des Gefüges auf die Infiltration bearbeiteter Böden nicht beobachtet.

Die Carbonatverteilungskurve zeichnete sich bei den meisten untersuchten Profilen durch zwei Anreicherungshorizonte aus, einen an der Bodenoberfläche und einen in größerer Bodentiefe. Zwischen diesen beiden Horizonten befindet sich ein Carbonatminimum. Die Carbonatmaxima kennzeichnen die Bodenhorizonte, in denen die Porosität und damit die Wasserleitfähigkeit durch Carbonateinlagerung herabgesetzt wurde. Die Entstehung des Carbonatminimums ist überwiegend an eine zeitlich längere und intensivere Bodendurchfeuchtung gebunden. Daher bildet sich das Carbonatminimum allgemein über einem Staukörper aus. Da die Infiltrationsraten von der Wasserleitfähigkeit der einzelnen Horizonte abhängig sind, besteht eine verhältnismäßig enge positive Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage des unteren Carbonatminimums bzw. des Carbonatmaximums. Bei Profilaufgrabung bis 150 cm Tiefe ist das Carbonatminimum mit Sicherheit festzustellen, während das untere Carbonatmaximum bei einer Aufgrabung bis in 150 cm meist nicht einwandfrei identifiziert werden kann. Der auf das Carbonatmaximum folgende carbonatärmere Horizont liegt bei den untersuchten Böden meist wesentlich tiefer als 150 cm. Daher ist die Tiefenlage des Carbonatminimums zur Abschätzung der Infiltrationsraten besser geeignet.

Weisen Böden den geringsten Carbonatgehalt an der Oberfläche auf, dann ist die Beziehung zwischen Tiefenlage des Carbonatminimums und Höhe der Infiltrationsrate nicht mehr gültig. Beispiele für eine solche Carbonatverteilung traten bei jedem der drei untersuchten Bodentypen auf. An der Bodenoberfläche tritt der geringste Carbonatgehalt dann auf, wenn durch Erosion die Böden bis auf den Horizont des Carbonatminimums abgetragen sind oder der Unterboden durchlässig ist. In diesem Fall ist der für die Ausbildung des Carbonatminimums erforderliche Staukörper nicht vorhanden.

3. Die Untersuchung der Wasserverteilung nach beendeter Infiltrationsmessung ergab eine engere positive Beziehung zwischen Infiltrationsrate und Tiefenlage der durch lateralen Fluß entstandenen seitlichen Ausbuchtung der Durchfeuchtungsfront. Außerdem steht die Tiefenlage der Ausbuchtung in enger positiver Beziehung zur Tiefenlage des Bodenartenwechsels bei den 'Yellow Soils' und zur Tiefenlage des Carbonatminimums bei allen untersuchten Böden. Es ergibt sich daraus eine Bestätigung der festgestellten Beziehung zwischen der Höhe der Infiltrationsrate einerseits und den morphologisch erkennbaren Merkmalen (1) Bodenartenwechsel und (2) Carbonatminimum andererseits.

Für die praktische Nutzenanwendung ist aus den Untersuchungsergebnissen zu folgern: (1) Eine Abschätzung der Höhe der Infiltrationsraten anhand der morphologisch erkennbaren Merkmale Gefüge, Bodenartenwechsel und Carbonatminimum ist annähernd möglich. (2) Zur optimalen Wasserversorgung der Vegetation aus den Niederschlägen ist eine Verbesserung der Infiltrationseigenschaften notwendig, die mittels Erhöhung der Wasserleitfähigkeit des obersten Horizontes erreicht wird. (3) Ist bei den 'Gray Desert Soils' eine Bewässerung vorgesehen, so ist bei der Einebnung des Geländes darauf zu achten, daß der oberste Bodenhorizont gebrochen wird bevor er durch aufgetragenes Bodenmaterial überdeckt wird.

Literaturverzeichnis

- ADRIAN, D.D. & FRANZINI, J.B.: Impedance to infiltration by pressure build up ahead of the wetting front. - J. G. Res. 71, 5857 - 5862, 1966
- AL - HARDAN, D.: The soils of the Wuheida Area. - Report to the Government of Jordan by the FAO Regional Soils Specialists after working in Jordan from 19.8. - 19.9. 1967
- ALLISON, L.E.: Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence. - Soil Sci. 63, 439 - 540, 1947
- ALLISON, L.E.: Wet combustion apparatus and procedur for organic and inorganic carbon in soil. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 36 - 40, 1960
- BENDER, F.: Geologie von Jordanien. - Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde, Band 7, Gebrüder Bornträger, Berlin u. Stuttgart, 1968
- BENDER, F.: Ergebnisse erdölgeologischer Untersuchungen in Jordanien. I. Regionalgeologie, Schichtfolge, Paläographie. - Erdöl Kohle Erdgas Petrochem. 22, 510 - 515, 1969
- BERTONI, J., LARSON, W.E. & SHRADER, W.D.: Determination of infiltration rates on Marsnall silt loam from runoff and rainfall records. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22, 571 - 574, 1958
- BERTRAND, A.R., BARNETT, A.P. & ROGERS, J.S.: The influence of soil physical properties on runoff, erosion and infiltration of some soils in the southeastern United States. - Trans. 8 th int. Congr. Soil Sci. 1964, 2, 663 - 677, 1964
- BIGGAR, J.W. & TAYLOR, S.A.: Some aspects of the kinetics of moisture flow into unsaturates soils. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, 81 - 85, 1960
- BLACK, C.A. & Mitarbeiter: Methods of soil analysis, Part 1. - BERTRAND, A.R.: Rate of water intake in the field. - Am. Soc. Agronomy 9, 197 - 209, 1965
- BLAKE, G.S. & IONIDES, M.G.: Raport on the water recources of Transjordan and their development. - Crown Agents for the Colonies, London 1939
- BODMAN, G.B., JOHNSON, D.E. & KRUSKAL, W.H.: Influence of VAMA and of depth of rotary hoeing upon infiltration of irrigation water. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22, 463 - 468, 1958
- BONDE, W.C. & SUBRAMANYAM, P.K.: Effect of vegetal cover on infiltration capacity of soil and comparison of variable head with constant head infiltrometers. - J. Indian Soc. Soil Sci. 16, 341 - 346, 1968

- BURGY, R.H. & LUTHIN, J.N.: Discussion of a test of the single- and double - ring types of infiltrometers. - Trans. Amer. Geophys. Un. 38, 260 - 261, 1957
- BURWELL, R.E. & LARSON, W.E.: Infiltration as influenced by tillage - induced random roughness and pore space. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33, 449 - 452, 1969
- BÜTTNER, M.: Briefliche Mitteilung über die Ergebnisse der botanischen Untersuchung des Arbeitsgebietes im März 1968, 1. Mai 1968
- DAN, J.: Soil - catena relationship as evidence for erosional cycles and changes of base level during the pleistocene in Israel. - Israel J. Earth - Sci. 13, 82 - 87, 1964
- DAN, J. & KOYUMDJISKY, H.: The soils of Israel and their distribution. - J. Soil Sci. 14, 12 - 20, 1963
- DAN, J., YAA'ALON, D.H., KOYUMDJISKY, H. & RAZ, Z.: the soils and soil association map of Israel. - Ministry Agric. and Hebr. Univ., Jerusalem 1962
- DEUTSCHE GEOL. MISSION in JORDANIEN: Geological map of Jordan, 1 : 250.000, Blatt Aqaba - Ma'an. - Bundesanst. Bodenforsch., Hannover 1968
- DEWAN, M.L.: Report of the first near east regional meeting on soil classification and Survey. - Beirut, FAO 1959
- DIEBOLD, C.H.: Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compaction. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18, 339 - 343, 1954
- DUDAL, R., TAVERNIER, R. & OSMOND, D.: Soil Map of Europe. - Rome, FAO 1966
- EAGLEMAN, J.R. & JAMISON, V.C.: Soil layering and compaction effects on unsaturated moisture movement. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 519 - 522, 1962
- GARD, L.E., JACOB, W.C. & VAN DOREN, C.A.: Runoff from pasture plots analyzed by fitting of constants technique. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23, 388 - 391, 1959
- GILE, L.H.: A classification of ca-horizons in soils of a desert region, Dona Ana County, New Mexico. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 52 - 61, 1961
- GRANT, W.J. & STRUCHTEMEYER, R.A.: Influence of the coarse fraction in two main potato soils on infiltration, runoff and erosion. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23, 391 - 394, 1959

- GRÜNEBERG, F.: Ergebnisse bodenkundlicher Untersuchungen zur Planung von Grundwasser- und Landerschließungsarbeiten im südlichen Hochland von Jordanien. Unveröff. Berichte Deutsche Geolog. Beratergruppe in Jordanien. - Arch. Bundesanst. Bodenforsch., Hannover 1969.
- GRÜNEBERG, F. & DAJANI, F.Z.: The soil survey at el Jafr. Unveröff. Berichte Deutsche Geolog. Mission in Jordanien. - Arch. Bundesanst. Bodenforsch., Hannover 1964
- GUPTA, R.P. & SWARTZENDRUBER, D.: Flow associated reduction in the hydraulic conductivity of quartzsand. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 6 - 10, 1962
- HAISE, H.R., DONNAN, W.W., PHELAN, J.T., LAWHON, L.F. & SHOCKLEY, D.G.: The use of cylinder infiltrometers. - Agricultural Res. Serv. and Soil Conserv. Serv.. U.S. Dept. Agriculture, Washington 1956
- HANKS, R.J. & BOWERS, S.A.: Numerical solution of the moisture flow equation for infiltration into layered soils. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 530 - 534, 1962
- HARPER, W.G.: Morphology and genesis of calcisols. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21, 420 - 424, 1957
- HAUDE, W.: Erfordern die Hochstände des Toten Meeres die Annahme von Pluvial - Zeiten während des Pleistozäns? - Meteorol. Rdsh. 22, 29 - 40, 1969
- HEIMBACH, W.; DAJANI, F. & NUSEIBEH, M.: Geologie and phosphorite possibilities in the area between El Hasa and Ma'an. Unveröff. Berichte der Deutschen Mission in Jordanien. - Arch. Bundesanst. Bodenforsch., Hannover 1962
- HILLEL, D.: Infiltration and rainfall - runoff as affected by surface crusts. - 8 th int. Congr. Soil Sci. 1964, 2, 53 - 60, 1964
- HILLEL, D. & GARDNER, W.R.: Steady infiltration into crust-topped profiles. - Soil Sci. 108, 137 - 142, 1969
- HUCKRIEDE, M. & WIESEMANN, G.: Der jungpleistozäne Pluvial - See von El Jafr und weitere Daten zum Quartär Jordaniens. - Geologica et Palaeontologica 2, 73 - 95, Marburg 1968
- JESSUP, R.W.: The stony tableland soils of the south - eastern portion of the Australian arid zone and their evolutionary history. - J. Soil Sci. 11, 188 - 196, 1960
- JOHNSON, A.I.: A field method for measurement of infiltration. - U.S. Government Printing Office, Washington 1963
- JUNG, L.: Beobachtungen und Untersuchungen über Boden-erosion in Thrazien und West - Anatolien. - Z. f. Kulturtechnik 3, 337 - 355, 1962

- KHEDEIR, M.K.: Stratigraphie und paleographische Entwicklung des Jafr - Beckens. - Diss. Rhein. Westfäl.- Techn. Hochschule Aachen, 1968
- KHYBRY, M.L.: Infiltration studies in Charia hills of Nepal. - J. Indian Soc. Soil Sci. 13, 265 - 271, 1965
- KOHLRAUSCH, F.: Praktische Physik, Band 1. - B.G. Teubner, Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1960
- KOHNKE, H.: Soil physics. - Mc Graw - Hill Book Company, New York 1968
- KOVDA, V.A.: Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones. - Proc. Teheran Symp., 201 - 212, Paris, UNESCO 1961
- KRUMBEIN, W.E.: Über den Einfluß der Mikroflora auf die exogene Dynamik (Verwitterung und Krustenbildung). - Geol. Rdsch. 58, 333 - 363, 1969
- KUBIENA, W.L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. - Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1953
- LEMOS, P. & LUTZ, J.F.: Soil crusting and some factors affecting it. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21, 485 - 491, 1957
- LONG, G.A.: Bioclimatology and vegetation of Eastern Jordan. - FAO Working Paper, Rome 1957
- LOWDERMILK, W.C.: Floods in deserts. - Desert Res., 365 - 377, Jerusalem 1953
- MABBUTT, J.A.: Stone distribution in a stony tableland soil. - Aust. J. Soil Res. 3, 131 - 142, 1965
- MACHATSCHEK, F.: Geomorphologie. - B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1959
- MARSHALL, T.J.: The nature, development and significance of soil structure. Transaction Joint Meeting Commission IV and V Intern. - Soc. Soil Sci., 243 - 257, Wellington 1962
- MENSCHING, H.: Das Quartär in den Gebirgen Marokkos. - VEB Geographisch - Kartographische Anstalt, Gotha 1955
- MILLER, D.E. & GARDNER, W.H.: Water infiltration into stratified soil. - Soil Sci. Amer. Proc. 26, 115 - 119, 1962
- MOORMAN, F.: The soils of East Jordan. Report to the Government of Jordan. - Expanded technical assistance programm No. 1132, Rome, FAO 1959
- MUCKEL, D.S.: Replenishment of ground water supplies by artificial means. - United States Dept. Agric. Technical Bulletin No. 1195, Washington 1959

- MUNSELL: Soil color charts. - Munsell Color Company, Baltimore 1954
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. & DAVIDSON, J.M.: Experimental consideration of diffusion analysis in unsaturated flow problems. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 107 - 111, 1962
- NRA SOILS DIVISION: Detailed soil classification of Shobak and Fujeij area. - Unpubl. Report. - The Hashem. Kingdom of Jordan Natural Resources Authority, Amman 1967
- NRA SOILS DIVISION: Reconnaissance survey of the Fujeij area. - Unpub. Report. - The Hashem. Kingdom of Jordan Natural Resources Authority, Amman 1967
- NRA SOILS DIVISION: Detailed lands- and soil classification of Al Qurein Area. - The Hashem. Kingdom of Jordan Natural Resources Authority, Amman 1968
- PARR, J.F. & BERTRAND, A.R.: Water infiltration into Soils. - Adv. Agron 12, 311 - 363, 1960
- PASCAUD, G. & MINART, P.: Relationship between pH, salinity, exchangeable sodium, their application to the diagnosis of alkali soils. - Working document for the preparation of the FAO / UNESCO international sourcebook on irrigation and drainage in relation to salinity and alkalinity, V. Paris, UNESCO 1963
- PHILIP, J.R.: The infiltration equation and its solution, pt. 1 of the theory of infiltration. - Soil Sci. 83, 345 - 357, 1957
- PHILIP, J.R.: Moisture profiles and relation to experiment, pt. 3 of the theory of infiltration. - Soil Sci. 84, 163 - 178, 1957 (1957a)
- PHILIP, J.R.: Sorptivity and algebraic infiltration equations, pt. 4 of the theory of infiltration. - Soil Sci. 84, 257 - 264, 1957 (1957b)
- PHILIP, J.R.: The influence of the initial moisture content, pt. 5 of the theory of infiltration. - Soil Sci. 84, 329 - 339, 1957 (1957c)
- PHILIP, J.R.: Effect of water depth over soil, pt. 6 of the theory of infiltration. - Soil Sci. 85, 278 - 286, 1958
- PHILIP, J.R.: The theory of infiltration, pt. 7. - Soil Sci. 85, 333 - 337, 1958 (1958a)
- QUIRK, J.P. & PANABOKKE, C.R.: Incipient failure of soil aggregates. - J. Soil Sci. 13, 60 - 72, 1962
- RAVIKOVITCH, S.: Soils of Israel. - Rehovot 1960
- RAVIKOVITCH, S. & PINES, F.: Mountain Rendzina soils in Israel. - Anales de Edafologia y Agrobiologia Tomo 26, 573 - 584, Madrid 1967

- RICHARDS, L.A.: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. - United States Dept. Agric. Handbook No. 60, Washington 1954
- SCHENDEL, U.: Beziehung zwischen der Infiltrationsrate und dem Wasservorrat eines roterdigen, lehmigen Sandbodens bis zu einer Tiefe von 25 bis 30 cm. - Z. f. Kulturtechnik 3, 99 - 102, 1962
- SCHENDEL, U.: Probleme des Wasserhaushaltes, der Boden-erosion und der Bewässerung in warmen Klimazonen. - Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung 8, 68 - 84, 1967
- SCHIFF, L.: The effect of surface head on infiltration-rates based on the performance of ring infiltrometers and ponds. - Trans. Amer. Geophys. Un. 34, 257 - 266, 1953
- SCHIFF, L. & DREIBELBIS, R.R.: Movement of water within the soil and surface runoff with reference to land use and soil properties. - Trans. Amer. Geophys. Un. 30, 401 - 411, 1949
- SIUTA, J. & TERELAK, H.: The share of gaseous phase in the formation of soil structure. - Pam. Pulawski 18, 95 - 100, 1965
- SMITH, W.O.: Pedological relations of infiltration phenomena. - Trans. Amer. Geophys. Un. 30, 555 - 562, 1949
- SMITH, W.O., OLSON, H.W., BAGNOLD, R.A. & RICE, J.C.: Certain flows of air and water in sands during infiltration. Soil Sci. 101, 441 - 449, 1966
- SOIL SCIENCE SOCIETY of AMERICA: Report of definitions approved by the Committee on Terminology. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20, 430 - 440, 1956
- SOR, K. & BERTRAND, A.R.: Effects of rainfall energy on the permeability of soils. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 293 - 297, 1962
- SPRINGER, M.E.: Desert pavement and vesicular layer of some soils of the desert of the Lahontan Basin, Nevada. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22, 63 - 66, 1958
- STREBEL, O.: Bodengesellschaften Syriens und des Libanons. - Geol. Jb. 84, 1 - 22, Hannover 1965
- SWARTZENDRUBER, D.: Water flow through a soil profile as affected by the least permeable layer. - J. Geophys. Res. 65, 4037 - 4042, 1960
- SWARTZENDRUBER, D. & OLSON, T.C.: Sand - model study of buffer effects in the double - ring infiltrometer. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25, 5 - 8, 1961
- THORNE, D.W. & PETERSON, H.B.: Irrigated soils. - Blakistone Comp., New York 1950

- TISDALL, A.L.: Antecedent soil moisture and its relation to infiltration. - Aust. J. Agric. Res. 2, 342 - 348, 1951
- U.S. DEPT. OF AGRIC.: Soil classification; a comprehensive system, 7 th Approximation, Washington 1960
- USDI BUREAU OF RECLAMATION: Landclassification handbook manual, Vol. 14, Washington 1950
- VERMA, T.R. & TOOGOOD, J.A.: Infiltration rates in soils of the Edmonton area and rainfall intensities. - Canad. J. Soil Sci. 49, 103 - 109, 1069
- VITA - FINZI, C.: Observations on the late Quaternary of Jordan. - Palestine Exploration Quarterly 96, 19 - 33, London 1964
- VUCIC, N.: Influence of soil structure on infiltration and pF values of chernozem and chernozemlike dark meadow soils. - Int. Ass. Sci. Hydrol. / UNESCO Symp. Wageningen 83, 344 - 350, 1968
- WILIMOTT, S.G., BIRCH, B.P., MC. KEE, R.F., ATKINSON, K. & NIMRI, B.S.: Conservation survey of the southern highlands of Jordan. - Dept. of Geography, University of Durham, London 1964
- WILSON, L.G. & LUTHIN, J.N.: Effect of air flow ahead of the wetting front on infiltration. - Soil Sci. 96, 136 - 143, 1963
- WISCHMEIER, W.H.: A rainfall erosion index for a universal soil - loss equation. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23, 246 - 249, 1959
- YAALON, D.H.: Downward movement and distribution of anions in soil profiles with limited wetting. - Proc. Eleventh Easter School in Agric. Sci., University of Nottingham, 157 - 164, 1964
- ZASLAVSKY, D.: Theory of unsaturated flow into a non - uniform soil profile. - Soil Sci. 97, 400 - 410, 1964
- ZASLAVSKY, D.: Saturation - unsaturation transition in infiltration to a non - uniform soil profile. - Soil Sci. 107, 160 - 165, 1969

Die Unterlagen zu dieser Arbeit wurden während eines einjährigen Aufenthaltes in Jordanien und anschließender Labortätigkeit in Hannover gesammelt.

Mein Dank gilt vor allem Herrn Professor Dr. Schönhals für das Vertrauen, das mir entgegengebracht wurde, die Arbeit allein und ohne unmittelbare Aufsicht des Institutes durchführen zu dürfen.

Herrn Dr. Lüken und Herrn Dr. Grüneberg danke ich vielmals für die stets wohlwollende Förderung und Unterstützung, die beide Herren mir während der Durchführung der Untersuchungen und bei der Abfassung des Manuskripts zuteil werden ließen.

Für die freizügig gewährten Arbeitsmöglichkeiten und Unterstützung schulde ich großen Dank der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover und den Behörden des Hashemitischen Königreiches von Jordanien.

Besonders herzlich möchte ich mich bei meiner Frau für ihre bereitwillige Mitarbeit in der jordanischen Wüste danken. Außerdem wurde nach der Rückkehr nach Deutschland ein großer Teil der chemischen Analysen von ihr durchgeführt.

L e b e n s l a u f

Am 27. 3. 1940 wurde ich als Sohn des Lehrers Otto Burghardt und seiner Ehefrau Sybille, geb. Vehlow, in Sonthofen / Allgäu geboren.

Von 1946 bis 1950 besuchte ich die Volksschule in Fischen / Allgäu, anschließend die Waldorfschule und das Kepler - Gymnasium in Ulm / Donau und ab 1953 das Kirchenpauer - Gymnasium in Hamburg, an dem ich 1960 die Reifeprüfung ablegte.

Es folgte eine zweijährige landwirtschaftliche Lehre auf dem Betrieb von Herrn O. Engel in Malkwitz bei Malente und von Herrn O. Lempelius in Oestergaard bei Steinbergkirche. Die landwirtschaftliche Lehre beendete ich mit Ablegung der Gehilfenprüfung.

Im Sommersemester 1962 begann ich mit dem Studium der Landwirtschaft an der Universität Kiel, an der ich im April 1966 das Examen als Diplomlandwirt bestand.

Vom 1.6. 1966 bis 30.4. 1967 war ich im Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen an der Universität Kiel und vom 1.5. 1967 bis 30.6. 1970 an der Bundesanstalt für Bodenforschung in Hannover tätig. Am 1.7. 1970 schied ich aus dem Dienst der Bundesanstalt für Bodenforschung aus, um mich ausschließlich meiner Dissertation zu widmen.

